

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



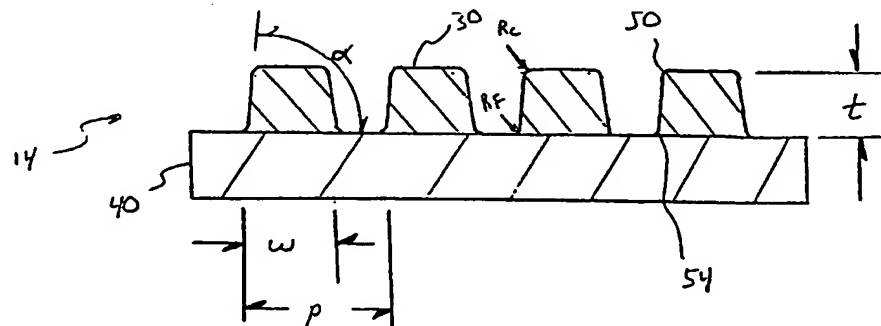
(43) International Publication Date  
15 March 2001 (15.03.2001)

PCT

(10) International Publication Number  
**WO 01/18570 A1**

- (51) International Patent Classification<sup>7</sup>: G02B 5/30
- (21) International Application Number: PCT/US00/24538
- (22) International Filing Date:  
7 September 2000 (07.09.2000)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:  
09/390,833 7 September 1999 (07.09.1999) US
- (71) Applicant: MOXTEK [US/US]; 452 West 1260 North, Orem, UT 85047 (US).
- (72) Inventors: HANSEN, Douglas, P.; 915 East 1240 South, Spanish Fork, UT 84660 (US). PERKINS, Raymond, T.; 686 South 850 East, Orem, UT 85097 (US). GARDNER, Eric; 2495 North 800 West, Provo, UT 84604 (US).
- (74) Agents: HOBSON, Garron, M. et al.; Thorpe, North & Western, LLP, P.O. Box 1219, Sandy, UT 84091-1219 (US).
- (81) Designated States (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) Designated States (*regional*): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Published:**
- With international search report.
  - Before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments.
- For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: IMPROVED WIRE-GRID POLARIZING BEAM SPLITTER



(57) Abstract: A wire grid polarizing beam splitter (14) has a generally parallel arrangement of thin, elongated elements (30) on a substrate (40) which interact with electromagnetic waves of a source light beam to generally transmit or pass light of one polarization, and reflect light of the other polarization. The arrangement of elements has a throughput greater than approximately 50%, and an extinction greater than approximately 100. In addition, the arrangement of elements has a period less than approximately 0.21  $\mu\text{m}$ , and a width (w) to period (p) ratio of between approximately 0.25 to 0.76. The elements have a thickness of between approximately 0.05 to 0.5  $\mu\text{m}$ .

WO 01/18570 A1

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号  
特表2003-508813  
(P2003-508813A)

(43)公表日 平成15年3月4日(2003.3.4)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 2 B 5/30		G 0 2 B 5/30	2 H 0 4 9
5/18		5/18	2 H 0 9 9
27/28		27/28	Z

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 63 頁)

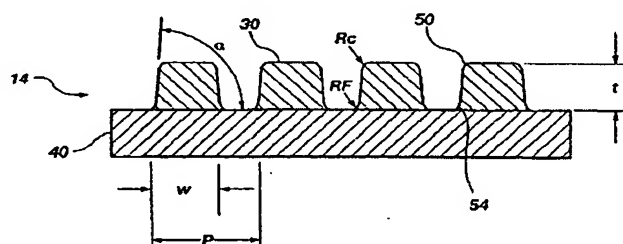
(21)出願番号	特願2001-522107(P2001-522107)	(71)出願人	モックステック
(86) (22)出願日	平成12年9月7日(2000.9.7)		アメリカ合衆国ユタ州84057, オレム, ウ
(85)翻訳文提出日	平成14年3月7日(2002.3.7)		エスト 1260 ノース 452
(86)国際出願番号	P C T / U S 0 0 / 2 4 5 3 8	(72)発明者	ハンセン, ダグラス・ビー
(87)国際公開番号	W O 0 1 / 0 1 8 5 7 0		アメリカ合衆国ユタ州84660, スパニッシ
(87)国際公開日	平成13年3月15日(2001.3.15)		ユ・フォーク, イースト 1240 サウス
(31)優先権主張番号	0 9 / 3 9 0 , 8 3 3		915
(32)優先日	平成11年9月7日(1999.9.7)	(72)発明者	パーキンス, レイモンド・ティ
(33)優先権主張国	米国 (US)		アメリカ合衆国ユタ州85097, オレム, サ
			ウス 850 イースト 686
		(74)代理人	弁理士 社本 一夫 (外5名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 改良型ワイヤグリッド偏光ビームスプリッター

(57)【要約】

ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタ (14) は、基板 (40) 上に薄く細長い素子 (30) の一般的に平行な配列を持ち、光源ビームの電磁波と相互作用して、一般的に一偏光の光を透過又は通過させ、他方の偏光の光を反射させる。素子の配列は約50%よりおおきなスループット、約100より大きな消光を有する。さらに、素子の配列は約0.21 $\mu$ mより小さな周期、0.25から0.76の間の幅 (w) の周期 (p) に対する比率を持っている。素子は約0.05から0.5 $\mu$ mの厚さを持っている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 効率的に可視光の一方の偏光を反射させ、他方の偏光を透過させるワイヤグリッド偏光ビームスプリッタであって、

可視光内に配列された薄く細長い素子の一般的な平行配列であって、一般的に  
(i) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光を透過させ、(ii) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に配向された偏光を持つ光を反射させるように、光源ビームの電磁波と相互作用するように配列が構成され素子が一定の大きさに作られた、配列と、

素子の配列が、一方の偏光の反射光の全反射光に対する部分量と他方の偏光の透過光の全透過光に対する部分量の積により定義される約50%より大きなスループットを持つことを特徴とし、

素子の配列が、反射又は透過のいずれかにおいて約50より大きな消光を持つことを特徴とする、ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタ。

【請求項2】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を反射することを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項3】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を透過することを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項4】 素子の配列が約0度から80度の間の入射角に向けて配置されることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項5】 素子の配列が約0.21  $\mu\text{m}$ より小さな周期を有することを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項6】 素子が約0.05  $\mu\text{m}$ から0.5  $\mu\text{m}$ の間の厚さを持つことを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項7】 素子が幅の周期に対する比率として約0.25から0.76を有することを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項8】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は、底部に対して約68度から112度の間の角度を形成していることを特徴とする、請求項1に記載のビームス

プリッタ。

【請求項9】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は底部に対して異なる角度を形成していることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項10】 素子の各々が丸められた上部を持つことを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項11】 素子の各々が台形型の断面を持つことを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項12】 素子が波長450nmで0.618、波長550nmで0.958、波長650nmで1.47の約50%より大きい光学定数 $n$ を持つアルミニウムから形成されていることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項13】 素子が波長450nmで5.47、波長550nmで6.69、波長650nmで7.79の約50%より大きい光学定数 $k$ を持つアルミニウムから形成されていることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項14】 素子が波長459.2nmで0.144、波長563.6nmで0.120、波長652.6nmで0.140の約80%より大きい光学定数 $n$ を持つ銀から形成されていることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項15】 素子が波長459.2nmで2.56、波長563.6nmで3.45、波長652.6nmで4.15の約80%より大きい光学定数 $k$ を持つ銀から形成されていることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項16】 効率的に可視光の一方の偏光を反射させ、他方の偏光を透過させるワイヤグリッド偏光ビームスプリッタであって、

可視光内に配列された薄く細長い素子の一般的な平行配列であって、一般的に (i) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光を透過させ、 (ii) 少なくとも一つの素子および入射光ビ

ームの方向を含む平面に配向された偏光を持つ光を反射させるように、光源ビームの電磁波と相互作用するように配列が構成され素子が一定の大きさに作られた、配列と、

素子の配列が、一方の偏光の反射光の全反射光に対する部分量と他方の偏光の透過光の全透過光に対する部分量の積により定義される、約50%より大きなスループットを持つことを特徴とし、

素子の配列が約50より大きな消光を持つことを特徴とし、

素子の配列が約0.21  $\mu\text{m}$ より小さな周期を持つことを特徴とする、ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタ。

【請求項17】 素子が約0.05  $\mu\text{m}$ から0.5  $\mu\text{m}$ の間の厚さを持つことを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項18】 素子が幅の周期に対する比率として約0.25から0.76を持つことを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項19】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を反射することを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項20】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を透過することを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項21】 素子の配列が約0度から80度の間の入射角に向けて配置されることを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項22】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は、底部に対して約68度から112度の間の角度を形成していることを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項23】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は底部に対して異なる角度を形成していることを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項24】 素子の各々が丸められた上部を持つことを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項25】 素子の各々が台形型の断面を持つことを特徴とする、請求

項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項26】 素子が波長450nmで0.618、波長550nmで0.958、波長650nmで1.47の約50%より大きい光学定数 $n$ を持つアルミニウムから形成されていることを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項27】 素子が波長450nmで5.47、波長550nmで6.69、波長650nmで7.79の約50%より大きい光学定数 $k$ を持つアルミニウムから形成されていることを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項28】 素子が光学定数 $n$ および $k$ を持つ銀から形成されることを特徴とし、 $n$ は波長459.2nmで0.144、波長563.6nmで0.120、波長652.6nmで0.140の約80%より大きく、 $k$ は波長459.2nmで2.56、波長563.6nmで3.45、波長652.6nmで4.15の約80%より大きいことを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項29】 効率的に可視光の一方の偏光を反射させ、他方の偏光を透過させるワイヤグリッド偏光ビームスプリッタであって、

約0.4から0.7ミクロンの間の範囲の波長を持つ光源ビームを放射する光源と、

可視光内に配列された薄く細長い素子の一般的な平行配列であって、一般的に  
(i) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光を透過させ、(ii) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に配向された偏光を持つ光を反射させるように、光源ビームの電磁波と相互作用するように配列が構成され素子が一定の大きさに作られた、配列と、

素子の配列が約0.21 $\mu\text{m}$ より小さな周期を持つことを特徴とし、

素子が約0.05から0.5 $\mu\text{m}$ の間の厚さを持つことを特徴とし、

素子が幅の周期に対する比率として約0.25から0.76の間の値を持つことを特徴とする、ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタ。

【請求項30】 素子の配列が、一方の偏光の反射光の全反射光に対する部分量と他方の偏光の透過光の全透過光に対する部分量の積により定義される約50%より大きなスループットを持つことを特徴とし、

素子の配列が、全反射光に対する一偏光の反射光の部分量と全透過光に対する他方の偏光の透過光の部分量との積により定義される約50%より大きなスループットを持つことを特徴とし、

素子の配列が約50より大きな消光を持つことを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項31】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を反射することを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項32】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を透過することを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項33】 素子の配列が約0度から80度の間の入射角に向けて配置されることを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項34】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は、底部に対して約68度から112度の間の角度を形成していることを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項35】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は底部に対して異なる角度を形成していることを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項36】 素子の各々が丸められた上部を持つことを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項37】 素子の各々が台形型の断面を持つことを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項38】 素子が光学定数 $n$ および $k$ を持つアルミニウムから形成されており、 $n$ は波長450nmで0.618、波長550nmで0.958、波長650nmで1.47の約50%より大きく、 $k$ は波長450nmで5.47、波長550nmで6.69、波長650nmで7.79の約50%より大きい

ことを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項39】 素子が波長459.2nmで0.144、波長563.6nmで0.120、波長652.6nmで0.140の約80%より大きい光学定数 $n$ を持つ銀から形成されていることを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項40】 素子が波長459.2nmで2.56、波長563.6nmで3.45、波長652.6nmで4.15の約80%より大きい光学定数 $k$ を持つ銀から形成されていることを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項41】 可視スペクトル全域で一般的に同じ特性を持ち所定の消光を持つ所望範囲の入射角全域で動作可能なワイヤグリッド偏光ビームスプリッタを設計する方法であって、

可視スペクトルの下限を使用して様々な素子の厚さでの入射角の所定の上限および下限に対する透過効率を決定するステップと、

少なくとも周期および幅の周期に対する比率を含む他のパラメータを選択するステップと、

入射角の上限および下限に対する透過効率が同じである素子の厚さを決定するステップと、

決定された素子の厚さで入射角の上限および下限の両方における消光を決定するステップと、

所定の消光に達するまで少なくとも一つのパラメータを変化しつつ上述のステップを繰り返すステップと、

を含む方法。

【請求項42】 所望範囲内の異なる様々な入射角および可視スペクトル内の様々な波長に対する透過効率を決定するステップと、

透過効率が少なくとも80%になり、一般的に可視スペクトル全域で同じになるまで少なくとも一つのパラメータを変化させて上述ステップを繰り返すステップと、

をさらに含むことを特徴とする、請求項41に記載の方法。



## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 1. 発明の分野

本発明は、一方の線形偏光を反射し他方の線形偏光を透過させる、可視スペクトルにおいて動作可能なビームスプリッターに関する。より詳細には本発明は、ワイヤグリッド偏光子を動作光学素子 (operative optical element) として利用するビームスプリッタに関する。さらに、本発明は可視スペクトル全域で所望の機能を獲得するためのビームスプリッタの重要なパラメータに関する。

## 【0002】

## 2. 従来技術

ワイヤグリッド偏光子 (WGP) は、偏光光学システムにおいて使用されているが、ビームスプリッタにおいて効率的に適用されていない。例えば、赤外およびそれより長波長側で動作するワイヤグリッド偏光子が開発されている<sup>1</sup>。0.

115  $\mu\text{m}$ 程度の微細なグリッド間隔つまり周期を有する構造が報告されている<sup>2</sup>。ワイヤグリッド偏光子の特性を高める多くの概念が教示されている。例えば、Garvin<sup>3</sup>およびKeilmann<sup>3</sup>は赤外で動作しているワイヤグリッド偏光子の垂直入射での特性を改善させる方法を開示している。別の例としてTamadaはグリッド間隔が入射光の波長よりも非常に短い必要のない狭いスペクトルバンド偏光素子を生成するために、グレーティング構造において共鳴効果を使用する概念を教示している<sup>5</sup>。しかし広いスペクトルバンド、例えば可視スペクトル全域で動作するワイヤグリッド偏光子は、グリッド間隔が入射光の波長より非常に短いことを必要とする。Tamadaに関する一つの欠点は、所定の角度および所定のスプリットビーム間強度で動作する偏光ビームスプリッタを教示していない点にある。Tamadaは他者と同様に、ほぼ垂直な入射で動作する構造のみを議論している。

## 【0003】

大きな入射角において赤外ワイヤグリッド偏光子を使用する概念は、時として論文において議論されている。例えばStenkampは、入射角80度で10

0 nm周期のワイヤグリッド偏光子の透過率を測定した。Stenkampは、波長670 nmで消光率が増加することを観測した。しかしStenkampは、反射された放射強度を測定せず、データは唯一つの波長に対するものである<sup>6</sup>。別の例では、Birdは斜め入射結果の定性テストにおいてワイヤグリッドの透過率が、垂直からほぼ30度離れるまでは斜め入射にほぼ無関係であることを示しており<sup>7</sup>、それはPursleyの念入りの研究に一致している<sup>8</sup>。

#### 【0004】

光学ハンドブックは、ワイヤグリッド偏光子が高開口数を持つ光学システムで使用可能であることを述べている<sup>9</sup>。特に、Youngは入射角が0度から45度で使用される中赤外線(12  $\mu\text{m}$ ) 偏光子の偏光率に減少はないが、他方で透過率が30%より多く減少される(0.55から0.40より低くなる)ということが発見したとして引用されている<sup>10</sup>。

#### 【0005】

偏光ビームスプリッタを設計するために使用され得る重要なグリッド・パラメータはグレーティング材料の周期( $p$ )、ライン幅( $w$ )、ラインの深さつまり厚さ( $t$ )、基板材料の特性(例えば屈折率)、入射角、入射放射とグレーティングの共鳴効果例えばRayleigh共鳴の波長を含んでいる。例えば、Haggansは、ワイヤグリッドから反射された光ビームにおいて、これらのパラメータの結果を研究した<sup>11</sup>。Haggansのほとんどの計算は入射角45度に対するものであり、透過率は考察されていないように思われる。別の例として、Schnableは、特定の波長範囲でクロムと比較した場合に偏光効果を増加出来るのはほんのわずかの例外しかないことから金属材料を変化させることはあまり有用でないことを述べている<sup>12</sup>。

#### 【0006】

さらに、Haidnerは垂直入射および一つの波長(10.6  $\mu\text{m}$ )のみで動作する偏光反射グレーティング偏光子を記述している<sup>13</sup>。

可視スペクトル全域で高く一様な透過効率および反射効率、可視スペクトル全域で高い透過及び／又は反射の消光、大きな開口数、例えば透過および反射の効率、消光が相当な光円錐全域で維持されなくてはならず、円錐角として20度か

ら30度の大きさを持つ光円錐でよく働く、を有するワイヤグリッド偏光子ビームスプリッターを有することが望ましい。これらの基準を満たすために、可視光全域で一様な特性を持つ実践的な設計が、Rayleigh共鳴などのグレーティング共鳴効果を明らかにし制御しなくてはならない。上述したように、いくつかの参考文献が斜角でワイヤグリッド偏光子の特性に影響を与えるグリッドパラメータのいくつかの側面を議論している一方で、他の参考文献がこれらと同じパラメータの役割について混乱を示している。しかし参考文献のいずれもが可視スペクトルにおけるイメージング応用のために有用なワイヤグリッド偏光ビームスプリッターの設計に必要な重要な概念をまとめていない。

#### 【0007】

ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタに対し所望程度の機能を確保するために相互に関連づけられ集合的に扱われなくてはならない重要概念つまり物理的なパラメータは、グリッド外形の構造および形、ワイヤ又はグリッド素子の高さつまり厚さ、光の偏光に対するグリッドの向き、グリッド材料、入射角、収束、発散又は円錐角、Rayleigh共鳴などの現象の結果を含んでいる。これらの概念は、効率的なワイヤグリッド偏光ビームスプリッタの所望機能を獲得するために理解されなくてはならない。

#### 【0008】

従って、広いスペクトル範囲全域で効率的に一方の線形偏光を反射し他方を透過させるワイヤグリッド偏光子を使用したビームスプリッタを開発することが有利となるであろう。重大な設計制限が光学システムに課せらず、実質上設計における融通性が許容され得るようにさまざまな入射角で配列可能なビームスプリッタを開発することがさらに有利になるであろう。ワイヤグリッドの外形、ワイヤグリッドの寸法、ワイヤグリッド材料、ワイヤグリッドの向き、波長範囲、入射角、円錐角、レイリー共鳴効果などの重要な設計概念又はパラメータを考慮したビームスプリッタを開発することがさらに有利になるであろう。比較的発散した光を受領可能な大きな受領角を有するビームスプリッタを開発することがさらに有利であろう。

#### 【0009】

1. H. Hertz, Electric Waves (Macmillan and Company, Ltd., London, 1893) p. 177. ; G. R. Bird and M. Parrish, Jr., "近赤外偏光子としてのワイヤグリッド," J. Opt. Soc. Am. 50, pp. 886-891, 1960.
2. G. J. Sonek, D. K. Wanger, and J. M. Ballantyne, Appl. Opt. 22, pp. 1270-1272, 1983.
3. Garvin, U. S. Pat. 4, 289, 381
4. Keilmann, U. S. Pat. 5, 177, 635
5. Tamada, U. S. Pat. 5, 748, 368; and H. Tamada, et al., "0.8um波長帯でs偏光共鳴効果を使用したAlワイヤグリッド偏光子," Optics Letters, 22, No. 6, pp. 410-421, 1996)
6. B. Stenkamp, et al., "可視スペクトル領域のためのグリッド偏光子," SPIE, 2213, pp. 288-296 (1994)
7. G. R. Bird and M. Parrish, Jr., "近赤外偏光子としてのワイヤグリッド," J. Opt. Soc. Am., 50, pp. 886-891 (1960)
8. W. K. Pursley, Doctoral thesis, University of Michigan, (1956)
9. Michael Bass, Editor in Chief, The Handbook of Optics, Volume II, p. 3.34, McGraw-Hill, Inc., New York (1995)
10. J. B. Young, et al., Appl. Opt. 4, pp. 1023-1026 (1965)
11. C. W. Haggans, et al., "鏡面反射ビームのための偏光素子としての層状グレーティング" J. Mod. Optics, 40, pp. 675-686 (1993)

12. B. Schnable, et al. “サブ波長－周期 (subwavelength-period) の金属ストライプグレーティングによる偏光可視光の研究” Opt. Eng. 38 (2), pp. 220-226 (1996)

13. H. Haidner, et al., “10.6  $\mu\text{m}$ 波長のための偏光反射グレーティングビームスプリッタ,” Opt. Eng., 32 (8), 1860-1865 (1993)

#### 【0010】

##### 発明の目的および要旨

本発明の目的は、可視光の一方の偏光を反射し他方の偏光を透過させる、可視スペクトルで動作可能なビームスプリッタ装置を提供することである。

#### 【0011】

本発明の別の目的は、ワイヤグリッドの外形、ワイヤグリッドの寸法、ワイヤグリッド材料、ワイヤグリッドの向き、波長範囲、入射角、円錐角、レイリー共鳴効果などの様々な設計パラメータ又は概念を組み合わせることで効果的で効率的な特性を提供することである。

#### 【0012】

本発明の別の目的は、様々な入射角で配列可能であり設計上の融通性が増加されたビームスプリッタ装置を提供することである。

本発明の別の目的は、比較的発散した光を受領することが出来る大きな受領角を持つビームスプリッタ装置を提供することである。

#### 【0013】

本発明のさらなる目的は、イメージ投影システム、光投影システム、および／又はディスプレイシステムにおいて使用するためのビームスプリッタ装置を提供することである。

#### 【0014】

本発明のこれらおよび他の目的および利点は、薄く、細長い素子の一般的な平行配列を持つワイヤグリッド偏光ビームスプリッタにおいて理解される。光源ビームの電磁波と相互作用して一般的に一方の偏光の光を透過又は通過させ他方の偏光の光を反射させるように、配列は構成され素子は一定の大きさに作られてい

る。素子及び入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光が透過され、少なくとも一つの素子及び入射光ビームの方向を含む平面に平行に配向された光は反射される。

#### 【0015】

素子の配列は、反射光の割合と透過光の割合の積により定義される、約50%より大きなスループットを有利には有している。さらに素子の配列は約50%より大きな消光を有利に持っている。従って、素子の配列は一方の偏光を少なくとも67%反射し及び／又は他方の偏光を少なくとも67%透過させる。さらに、素子の配列は約0度から80度の間の入射角に対し有利に向けられる。

#### 【0016】

素子の配列は、有利には約0.21  $\mu\text{m}$ より小さな周期を持ち、幅の周期に対する比率として約0.25から0.76の間の値を有している。さらに素子は約0.04から0.5  $\mu\text{m}$ の間の厚さを有している。さらに素子は各々、底部に対して68度から112度の間の角を形成している側部を持つ台形型の断面図を有している。

#### 【0017】

可視スペクトル全域において一般的に同じ特性を持ち、所定の消光を有する、所望範囲の入射角全域で動作可能なワイヤグリッド偏光ビームスプリッタを設計および生成する方法は、第1に様々な素子の厚さでの所定の入射角の上限及び下限に対する透過効率を可視スペクトルの下限を使用して決定するステップを含む。周期および幅の周期に対する比率を少なくとも含んだ他のクリティカルパラメータが選択される。素子の厚さは、入射角の上限及び下限に対する透過効率が十分に同じである所で計算される。消光は入射角の上限および下限で所定の素子の厚さに対して計算される。計算された特性が許容出来る場合、この設計は適切である。計算された特性が許容出来ない場合、上記プロセスが、所定の消光に到達するまで少なくとも一つのパラメータを変化させて繰り返される。透過効率は所望範囲の様々な異なる入射角、可視スペクトルの様々な波長に対して決定され得る。プロセスは所望のビームスプリッタ効率が達成され、可視スペクトル全域で概して同じになるまで少なくとも一つのパラメータを変化させて繰り返される。

## 【0018】

本発明のこれらおよび他の目的、特徴、利点および代替的な側面は、添付された図面と組み合わせて以下の詳細な説明を考慮することで当業者に明らかになるであろう。

## 【0019】

## 発明の詳細な説明

本発明の様々な素子が数字の指示を与えられ、本発明が当業者が本発明の作成及び使用を出来るように議論される図面に対して参照がなされるであろう。

## 【0020】

ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタの好適な実施の形態は図1に概略されるような光学システムにおいて使用するのに適している。図1に示すように、一般的に10で示されるようなイメージ投影システムのディスプレイ光学列が、一般的に14で示されるビームスプリッタなどのワイヤグリッド偏光子を有するように示されている。イメージ投影システム10は、光源20、集光光学22、ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタ14、投影光学24、様々なタイプのディスプレイスクリーン25、イメージ生成液晶アレーつまり光弁26、結像つまりリレー光学27を組み込み得る。ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタを組み込んでいる他の配列が可能であることはもちろん理解される。

## 【0021】

図1に示される光学ジオメトリにおいて、ワイヤグリッドPBS14は光源20からのs偏光などの所望の偏光に対し高い反射率( $R_s$ )を有し、液晶アレー26からのp偏光などの反対の偏光に対し高い透過率( $T_p$ )を有しなくてはならない。光学システムの効率はこれらの二つの積 $R_s T_p$ に比例しており、よって一つの因子における欠陥は他方の改善により幾分か補償可能であり、目標は可能な最大の積 $R_s T_p$ を生成することである。さらなる議論に対し、スループットという用語が積 $R_s T_p$ を言及するために使用されるであろう。

## 【0022】

別の重要な特性因子は、イメージにおけるコントラストであり、光強度のダー

クピクセルに対する比率により定義される。これは所望偏光の低い漏れにより非常に支配されているが、この場合には反射消光と透過消光の積は重要なパラメータではない、なぜならビームスプリッタ14に第1衝突した後、第2衝突する前に連続的に置かれているイメージ生成アレー26がイメージコントラストの生成に貢献しているからである。従って最終的なシステムのコントラストは、偏光子の消光と同様光弁特性に依存するであろう。更なる偏光子素子を有しない図1に示すようなシステムの場合、50の反射および透過の消光は合理的に有用な最小値であるということが理解されている。

#### 【0023】

ビームスプリッタ14によって達成される二つの異なる機能がある。第1は液晶アレー26に当たる前、又は他の適切なイメージ生成装置に当たる前に偏光された光を用意することである。ここでの要求は最終的なイメージが所望レベルの特性に合致するように、光弁26により作られる光ビームの偏光のなんらかの変化がビームスプリッタ14により適切に検出され又は分析されるよう光が充分によく偏光されることである。同様に、ビームスプリッタ14の第2の機能は所望のシステムコントラスト特性が達成されるように、光弁によりビームスプリッタ14へ戻される光を分析することである。

#### 【0024】

従って好適な実施の形態におけるワイヤグリッド偏光ビームスプリッタ14は、反射ビームRおよび透過ビームTの両方に対して所望偏光の消光を同時に引き渡しつつスループット ( $R, T_p$ ) を最大にするように設計することである。この所望の特性レベルを達成する上で基礎となる本発明の重要なパラメータ、つまり物理的な特徴があり、以下で図2a、図2bを参照にして記述されるであろう。

#### 【0025】

図2aおよび図2bを参照にすると、偏光ビームスプリッタ14は基板40上に配列されたグリッド30、つまり導電要素の平行アレーを有する。偏光ビームスプリッタ14は、光ビームがグリッド上に入射角 $\theta$ で入射されるように光の中に配列されている。必要とされる特性レベルを達成するためにグループとして最適化されなくてはならないワイヤグリッド・ビームスプリッタ14の重要な物理



的パラメータは、ワイヤグリッド30の周期 $p$ 、グリッド素子30の高さつまり厚さ $t$ 、グリッド素子30の幅 $w$ 、グリッド素子の側部の傾き $\alpha$ を含んでいる。

#### 【0026】

これらの寸法の間に適切な関係を持つ細長い素子のアレーを生成することに加えて、適切な光学特性を持つ適切な材料の素子を組成することが重要である。可視スペクトル全域で機能しなくてはならないビームスプリッタにとっては、アルミニウム又は銀が好適な材料である。使用されるアルミニウム又は銀が、最良の光学品質であることが重要なことである。Edward D. Palik編集の固体の光学定数のハンドブック、パートI、1985のpp. 350-357および369-406のPalikにおいて作成されたもの、Palikに引用されたオリジナルソース、又は同様のデータテーブルと実質的に同様な光学品質（光学定数 $n$ 、 $k$ など）をもつようにアルミニウム又は銀が用意されるように注意しなくてはならない。例えば、銀の所望の光学定数は、波長459.2nmの場合 $n=0.144$ 、 $k=2.56$ 、波長563.6nmの場合 $n=0.120$ 、 $k=3.45$ 、波長652.6nmの場合 $n=0.140$ 、 $k=4.15$ である。同様にアルミニウムの場合適切な値は、波長450nmで $n=0.618$ 、 $k=5.47$ 、波長550nmで $n=0.958$ 、 $k=6.69$ 、波長650nmで $n=1.47$ 、 $k=7.79$ である。我々はより非常に高い $k$ の値のためアルミニウムは銀より好ましいことを発見した。特に、これらの値の約50%を越えない $n$ 、 $k$ をいずれか又は両方持つアルミニウムを使用することは適切に機能するであろうビームスプリッタの生成の困難性を非常に増加させるであろう。銀が使用される場合、 $n$ および $k$ のいずれか又は両方の値は上述した値の約80%を越えなくてはならない。

#### 【0027】

図2bを調べることでグリッド素子30の一般的な断面が性質上台形又は長方形であることが注目されるであろう。この一般的な形は好適な実施の形態の偏光ビームスプリッタ14のさらなる特徴であるが、グリッド素子30の上部のコーナーのまるみ50、グリッド素子30の底部におけるフィレット54など、製造プロセスにより当然に小さな変形が許容され得る。

## 【0028】

グリッド素子30の右側部に左側部に対して異なる傾きを導入することは、グリッド構造に方向異方性を導入することでグリッド30の角特性を調整を助長することを有利にするために使用可能であることに注意されるべきである。とはいえ、これは第2の効果と考えられる。

## 【0029】

代替的に、グリッド素子30の一般的な断面は図2cに示すように緩やかにカーブされ、又は図2dに示すように性質上シヌソイドであり得る。例えば素子30の断面は図2dに示すようにサインカーブの一部分と類似し得る。そのようにカーブされた断面又はシヌソイドの断面は、素子の底部でのコーナーの極度の丸み及びフィレットにより形成可能である。別の例として素子の上部は広くカーブされ、つまり図2cに示すようにコーナーが極度に丸みを帯び得る。

## 【0030】

さらにワイヤグリッド30の周期 $p$ は、好適な実施の形態のビームスプリッタ14のイメージング忠実度の要求を満たすために必要とされる鏡面反射特性を達成するため規則的でなくてはならないことに注意すべきである。完全に規則的で一様なグリッド30を持つほうが良いが、そのことがそれほど重要でないいくつかの応用ではその必要性は緩和される。しかし周期 $p$ の変化が、テキスト表示における単一文字の大きさなどの、イメージにおける意味ある寸法全域で10%未満である、つまりイメージにおいてほんの少しのピクセルであることは、必要な特性を達成するために必要であると考えられている。もちろん、ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタのイメージングでない応用においては、周期 $p$ の変化に対し大きな許容度を有し得る。

## 【0031】

グリッド素子30の幅 $w$ 、グリッド素子の高さ $t$ 、側面の傾き $\alpha$ 、又はコーナー50の丸み $R_c$ 、フィレット54の丸み $R_f$ などの上述された他のパラメータにおけるビームスプリッタ14全域での合理的な変化は、ディスプレイの特性に物質的影響を与えることなく可能であり、そのことは特にビームスプリッタ14がしばしばそのようであるようにイメージ平面でない場合に当てはまる。さらに

これらの変化は完了したビームスプリッタ14において縞、透過効率の変化、反射効率の変化、色の一様性の変化などとして見る事が可能であり、さらに特定の応用に対して有用な部分を提供する。

#### 【0032】

これらのパラメータの最適化により達成されなくてはならない設計目標は、可能な最良スループット $R_s, T_p$ を生成しつつ、応用におけるコントラスト要求を満たすことである。上述したように、偏光ビームスプリッタ14に要求される最小消光は50のオーダーである。価値ある結果を有するためにビームスプリッタ14に必要とされる最小スループット( $R_s, T_p$ )は約50%で、それは $R_s$ 、 $T_p$ のいずれか又は両方が約67%を越えなくてはならないことを意味する。もちろん、ビームスプリッタのスループットおよび消光の両方においてより高い特性であることは価値があり、より優れた結果を提供するであろう。これらのパラメータがワイヤグリッド・ビームスプリッタの特性にいかなる影響を与えるかを理解するために、各パラメータにより達成される特性の変化を調べる必要がある。

#### 【0033】

図3a-3eを参照すると、ワイヤグリッド・ビームスプリッタ14の特性が周期 $p$ に関して示されている。グレーティングは、BK7ガラス基板上にPallikから測定された光学定数を持つアルミニウムのワイヤグリッド素子のアレーを備えている。各アルミニウムのワイヤグリッド素子の高さつまり厚さ $t$ は1,000Åつまり100nmである。入射角 $\theta$ は30度であり、ライン幅と周期の比率は0.45である。図3aは、波長450nm、550nm、650nmでのS偏光の反射効率、P偏光の透過効率をグレーティング周期 $p$ の関数として示している。

#### 【0034】

図3bは波長450nm、550nm、650nmでのスループット( $R_s, T_p$ )を周期 $p$ の関数として示している。図3bに表示されるデータは周期 $p$ が0.21μm程度で未だ50%のスループットを生じ得ることを示している。

#### 【0035】

図3cは、周期 $p$ の関数として消光を示している。最悪の場合、即ち波長 $\lambda =$

450 nmの場合には、消光は周期  $p$  が0.21  $\mu\text{m}$ 程度の場合100より大きい。

#### 【0036】

図3 dは、レイリー波長、即ちグレーティング共鳴が起きる波長 ( $\lambda = p [n_s \pm \sin \theta]$ 、 $n_s = 1.525$ ) を周期  $p$  の関数としてプロットしている。入射角  $\theta$  が30度、波長450 nmの場合、周期  $p$  は0.21  $\mu\text{m}$ 程度の大きさとなり得る。

#### 【0037】

図3 eは、許容可能な周期  $p$  を入射角  $\theta$  の関数として示している。利用可能な最大周期は、波長450 nmでの入射角に基づいたレイリー共鳴の開始に基づいている。曲線はワイヤグリッド偏光子は周期0.21  $\mu\text{m}$ 以下では大きな入射角で動作出来ることを示している。

#### 【0038】

従って、図3 a-3 eは上述されたパラメータにより定義されるようなワイヤグリッド偏光子が可視スペクトル全域で合理的な特性を有するビームスプリッタを生成するためには0.21  $\mu\text{m}$ より小さな周期  $p$  を持たなくてはならないことを示している。より大きな周期のビームスプリッタは、全可視スペクトルでない、例えば赤のみ、赤と緑などを表示することが予定されるシステムにおいて有用であろうことがもちろん理解される。

#### 【0039】

ここで図4 a-4 cを参照すると、ワイヤグリッド・ビームスプリッタ14の特性が素子の高さつまり厚さ  $t$  に関して示されている。偏光子はBK7ガラス基板上でP a l i k sから測定された光学特性を持つアルミニウムのワイヤグリッド素子のアレーである。周期は0.15  $\mu\text{m}$ 、ラインスペースの比率は0.5、入射角  $\theta$  は60度である。図4 aは、波長450 nm、550 nm、650 nmにおけるS偏光の反射効率およびP偏光の透過効率を素子の高さつまり厚さ  $t$  の関数としてプロットしたものである。薄膜効果が図4 aにおいて明らかであるが、P透過率は全ての実用的な素子の高さ、主に200 Åから0.5  $\mu\text{m}$ およびそれより高い高さに対し60%より高く維持されている。もちろん、異なる光

学特性を持つアルミニウムではない物質では異なる結果が発生するであろう。

【0040】

図4bは、波長450nm、550nm、650nmにおけるスループットを素子の高さつまり厚さ $t$ の関数として示したものである。スループットは、200Åから0.5μmつまり20nmから500nmの間の全ての実用的な素子の高さで50%より大きい。

【0041】

図4cは、波長450nm、550nm、650nmにおける消光を素子の高さの関数として示したものである。50の消光は少なくとも500Å、つまり50nmの素子の高さを要求する。

【0042】

従って、図4a-4cは必要とされる特性を提供するためにワイヤグリッド素子の高さ $t$ が500Åと0.5μmの範囲の間にならなくてはならないことを示している。

【0043】

ここで図5a-5cを参照すると、ワイヤグリッド・ビームスプリッタ14の特性がラインスペースの比率に関して示されている。偏光子は、BKガラス基板上にPalksから測定された光学特性を持つアルミニウムのワイヤグリッド素子のアレーである。周期 $p$ は0.16μm、アルミニウム素子の高さ $t$ は0.13μm、入射角 $\theta$ は60度である。

【0044】

図5aは、波長450nm、550nm、650nmにおけるS偏光の反射効率とP偏光の透過効率をライン幅の周期に対する比率( $w/p$ )の関数として示したプロットである。P透過効率は、0.16と0.76の間のラインスペースの比率に対し高く維持されている。

【0045】

図5bは、波長450nm、550nm、650nmにおけるスループットをライン幅の周期に対する比率の関数としている。よいスループット特性はライン幅の周期に対する比率が0.16と0.76の間で達成される。

## 【0046】

図5cは、波長450nm、550nm、650nmにおける消光をライン幅の周期に対する比率の関数として示している。可視スペクトル全域における50の消光は、この比率が少なくとも0.25となることを必要とする。もちろんより大きな波長領域のみ（赤、赤－緑）で使用されるビームスプリッタは0.20より小さな比率を有し得る。

## 【0047】

従って、図5a－5cは必要とされる特性を提供するために、ライン幅の周期に対する比率（ $w/p$ ）が0.25と0.76の範囲の間になくてはならないことを示している。

## 【0048】

ここで図6aおよび図6bを参照すると、ワイヤグリッド・ビームスプリッタ14の特性が素子の断面的な形、主に台形の断面に関して示されている。これらの図で表される偏光子はBKガラス基板上にP a l i kから測定された光学特性を有する、アルミニウムのワイヤグリッド素子のアレーである。周期 $p$ は0.16  $\mu\text{m}$ 、入射角 $\theta$ は45度、台形素子の高さ $t$ は1000 Åである。ワイヤグリッド素子の断面領域は、ラインスペースの比率に0.45を有する長方形ワイヤグリッド素子のものと同じである。

## 【0049】

図6aは、基板に関して68度の角度をなす側壁（s i d e w a l l）を持つ台形断面を有する素子からなるワイヤグリッドアレーのスループットを波長 $\lambda$ の関数として示したものである。50%より大きなスループットは、415nm以上の全ての周波数 $\lambda$ に対して起きうる。

## 【0050】

図6bは、基板に関して68度の角度をなす側壁を持つ台形断面を有する素子からなるワイヤグリッドアレーの消光を波長 $\lambda$ の関数として示したものである。390nm以上の全ての波長で50より大きな消光を有するであろう。

## 【0051】

従って図6aおよび図6bに示すように、68度程度の低い斜角をもつ台形断

面をもつワイヤグリッド素子は必要な特性を提供するであろう。図6 aおよび図6 bに示されるものから実質的に特性を低下させることなく、角度は112度から、90度（長方形）を通り、68度まで可能である。

#### 【0052】

ここで図7 aおよび図7 bに言及すると、ワイヤグリッド・ビームスプリッタ14の特性がコーナー50の半径 $r_c$ に関して示されている。偏光子は、1737 Fガラス基板上的P a l i kから測定された特性を持つアルミニウムのワイヤグリッド素子のアレーである。周期 $p$ は0.16  $\mu\text{m}$ 、アルミニウム素子の高さ $t$ は0.115  $\mu\text{m}$ 、入射角 $\theta$ は45度である。

#### 【0053】

図7 aは、波長450 nm、550 nm、650 nmでのスループット ( $R_s$ ,  $T_p$ ) をコーナー半径の関数として示している。よいスループット即ち50%を越える特性は、全ての半径について達成される。

#### 【0054】

図7 bは、波長450 nm、550 nm、650 nmの波長において消光をコーナー半径の関数として示している。100より大きな消光が全てのコーナー半径について可能である。

#### 【0055】

ここで図7 cおよび7 dを参照すると、ワイヤグリッド・ビームスプリッタ14の特性が素子の断面の形、主にシヌソイド断面に関して示されている。偏光子は、BK7ガラス基板上でP a l i kから測定された光学特性を持つアルミニウムのワイヤグリッド素子のアレーである。ワイヤグリッド素子は0.15  $\mu\text{m}$ の高さ $t$ を持つシヌソイドの断面を持っている。他のパラメータは7 a、7 bに対して使用されるものと同じである。

#### 【0056】

図7 cは、シヌソイド断面の場合にスループット ( $R_s$ ,  $T_p$ ) を波長 $\lambda$ の関数として示している。よいスループット特性、即ち50%より大きい特性は400 nmより大きな波長で達成される。

#### 【0057】

図7 dは、シヌソイド断面の場合に消光を波長 $\lambda$ の関数として示している。50より大きな消光は400 nmより大きな波長で可能である。

従って、図7 a－7 dは所望の場合、つまり製造を容易にするためなどの場合にワイヤグリッド素子のコーナーが丸められ、シヌソイドにさえなり得ることを示している。

#### 【0058】

上述した情報は、ワイヤグリッド・ビームスプリッタ14の全てのパラメータに対して必要とされる範囲は何かという広い条件を定義しているが、所望されるビームスプリッタの特性を達成するためにこれらのパラメータが共にどのように選択されるかの方法について定義しない。関心ある問題は角度に関する色の特性、角度に関する透過率、角度に関する消光などのバランスを取ることである。上述された広い範囲に加えて、定義される範囲からいかなる特定のパラメータが特定の応用に適しているかを選択し、これらのパラメータがどのように選択されるかを支配する幾つかの一般的なルールを定義することがさらに重要である。

#### 【0059】

図8 a－8 dを参照にすると、設計例が説明されている。目標は450 nmから650 nmの可視波長全域でほぼ均一に応答し、少なくとも200の消光および少なくとも70%の効率又はスループットを持つ、入射角 $\theta$ が30度から60度の範囲で動作するワイヤグリッド偏光ビームスプリッタを生成することである。設計は繰り返さされる。まず、波長450 nmを使用して入射角30度及び60度の場合にP透過がワイヤグリッド素子の高さ $t$ の関数として計算される。450 nmの短波長は最悪の場合を示すが、より長い波長がより良い結果を示すであろう。図5 bからは、幅と周期の比率に0.5を選択すると最適条件に近づくことが明らかであり、周期はコストや製造収量などの実用性を考慮した他の問題と同様に小さくされるべきである。二つの計算は同じグラフにプロットされている。二つの曲線が交わるワイヤグリッド素子の高さ $t$ が見つけられる。ワイヤグリッド素子の高さ $t$ の関数としての消光は両方の角度に対して計算されており、交点の高さ $t$ での消光が見つけられる。特性が満足されない場合、クリティカルパラメータの一つが変化され、設計プロセスが繰り返される。最良の設計を見



つけるために、A. I. KhuriとJ. A. Cornellの応答表面：設計と分析、第2編集版、Marcel Dekker社. , NY1996に記述されるような応答表面方法が計算可能である。消光特性が満足される場合、波長450 nm、550 nm、650 nmの異なる3つの波長に対し、P透過が入射角 $\theta$ の関数として計算される。透過が約80%となり指定された角度範囲全域でほぼ一定である場合、設計は完了する。

#### 【0060】

例えば、図8aはBK7ガラス基板上でPallikから測定された光学特性を持つアルミニウムのワイヤグリッド素子のアレーである偏光子においてP透過をワイヤグリッド素子の高さ $t$ の関数として示している。周期 $p$ は0.16  $\mu\text{m}$ 、ライン幅の周期に対する比率は0.45、入射角 $\theta$ は30度および60度であり、波長 $\lambda$ は450 nmである。交点は約0.09  $\mu\text{m}$ である。

#### 【0061】

図8bはこれらのパラメータに対し、消光をワイヤグリッド素子の高さ $t$ の関数として示している。交点の値は0.09  $\mu\text{m}$ であり、消光はそれぞれ30度および60度で86および161である。従って、特性は満足されていない。プロセスは、ラインスペースの比率0.50で繰り返される。

#### 【0062】

図8cは、ラインスペースの比率が0.5に変化されることを除いては図8aと同じである。交点はここではほぼ0.10  $\mu\text{m}$ である。

図8dは、図8cに使用されるパラメータに対し消光をワイヤグリッドの高さ $t$ の関数として示している。0.10  $\mu\text{m}$ の交点の値で、消光は30度および60度で各々258、484である。従って、偏光子の特性は満足されている。結果は、ワイヤグリッド素子の高さ $t$ が0.100で図8c、8dに使用されるものと同じパラメータを使用して図8eに示されるように三つの異なる波長 $\lambda$  450 nm、550 nm、650 nmにおいてP透過を入射角 $\theta$ の関数として計算することでチェックされる。透過は波長450 nmの場合角度範囲全域で一様であり、一方で550 nm、650 nmでは透過は30度での80%から60度の88%へ上昇する。

## 【0063】

効率は示されていないが角度の増加と共に増加するであろう。従って図8a-8eを参照すると、可視スペクトルにおいて良い特性を持つワイヤグリッド素子を実設計する方法の実演が示されている。

## 【0064】

本発明の記述された実施の形態は例示的なものとしてのみ理解されるべきであり、その修正は当業者にとって考え得る。例えば、光パワーを持つワイヤグリッド・ビームスプリッタを基板上に含ませことで、グリッドビームスプリッタを他の素子に結合させ、必要とされるオプティクス数を縮小し、システムの重さやシステムの大きさを減少させ、又は他の所望の機能を達成する。他の代案は本発明により達成される従来技術に対する設計上の柔軟性の増加を考慮するともちろん当業者が考えることが出来る。従って本発明は開示された実施の形態に制限されるとみなされるわけではなく、ここにおいて添付された特許請求の範囲によって定義されるものによってのみ制限される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

本発明のワイヤグリッド偏光ビームスプリッタを使用したディスプレイ装置の一般的な動作の概略図である。

## 【図2】

図2aは、本発明のワイヤグリッド偏光ビームスプリッタの好適な実施の形態の透視図である。

図2bは、本発明のワイヤグリッド偏光ビームスプリッタの好適な実施の形態の断面的な側面図である。

図2cは、本発明のワイヤグリッド偏光ビームスプリッタの代替的な実施の形態の断面的な側面図である。

図2dは、本発明のワイヤグリッド偏光ビームスプリッタの代替的な実施の形態の断面的な側面図である。

## 【図3】

図3aは、波長450nm、550nm、650nmにおけるS偏光反射とP

偏光透過の効率をグリッド周期に対する関数として示したグラフ式のプロットである。

図3 bは、波長450 nm、550 nm、650 nmにおけるワイヤグリッド・ビームスプリッタのスループット ( $R, T_p$ ) 効率をグリッド周期の関数として示したグラフ式のプロットである。

図3 cは、波長450 nm、550 nm、650 nmにおけるワイヤグリッド偏光子の消光をグリッド周期の関数として示したグラフ式のプロットである。

図3 dは、0度、30度、45度、60度の入射角においてレイリー共鳴が発生する周波数をグリッド周期の関数として示したグラフ式のプロットである。

図3 eは、レイリー共鳴の開始に基づいた最大有用周期を入射角の関数として示したグラフ式のプロットである。

#### 【図4】

図4 aは、450 nm、550 nm、650 nmの入射光におけるP偏光透過およびS偏光反射の効率をグリッド素子の高さの関数として示したグラフ式のプロットである。

図4 bは、スループット ( $R, T_p$ ) をグリッド素子の高さの関数として示したグラフ式のプロットである。

図4 cは、ワイヤグリッド偏光子の消光をグリッド素子の高さの関数として示したグラフ式のプロットである。

#### 【図5】

図5 aは、波長450 nm、550 nm、650 nmにおいてS偏光反射とP偏光透過を幅の周期に対する比率即ちラインスペースの比率の関数として示したグラフ式のプロットである。

図5 bは、波長450 nm、550 nm、650 nmにおいてスループット ( $R, T_p$ ) を幅の周期に対する比率即ちラインスペースの比率の関数として示したグラフ式のプロットである。

図5 cは、波長450 nm、550 nm、650 nmにおいて消光を幅の周期に対する比率即ちラインスペースの比率の関数として示したグラフ式のプロットである。

## 【図6】

図6 aは、台形のグリッド素子を有するワイヤグリッド偏光子においてスループット ( $R_s, T_p$ ) を波長の関数として示したグラフ式のプロットである。

図6 bは、台形のグリッド素子を有するワイヤグリッド偏光子において消光を波長の関数として示したグラフ式のプロットである。

## 【図7】

図7 aは、波長450 nm、550 nm、650 nmにおいてグリッド素子のスループット ( $R_s, T_p$ ) を上部のコーナー半径の関数として示したグラフ式のプロットである。

図7 bは、波長450 nm、550 nm、650 nmにおいてグリッド素子の消光を上部のコーナー半径の関数として示したグラフ式のプロットである。

図7 cは、シヌソイド断面の素子をもつグリッドのスループット ( $R_s, T_p$ ) を波長の関数として示したグラフ式のプロットである。

図7 dは、シヌソイド断面の素子をもつグリッドの消光を波長の関数として示したグラフ式のプロットである。

## 【図8】

図8 aは、入射角30度および60度でのP偏光透過をグリッド素子の高さの関数として示したグラフ式のプロットである。

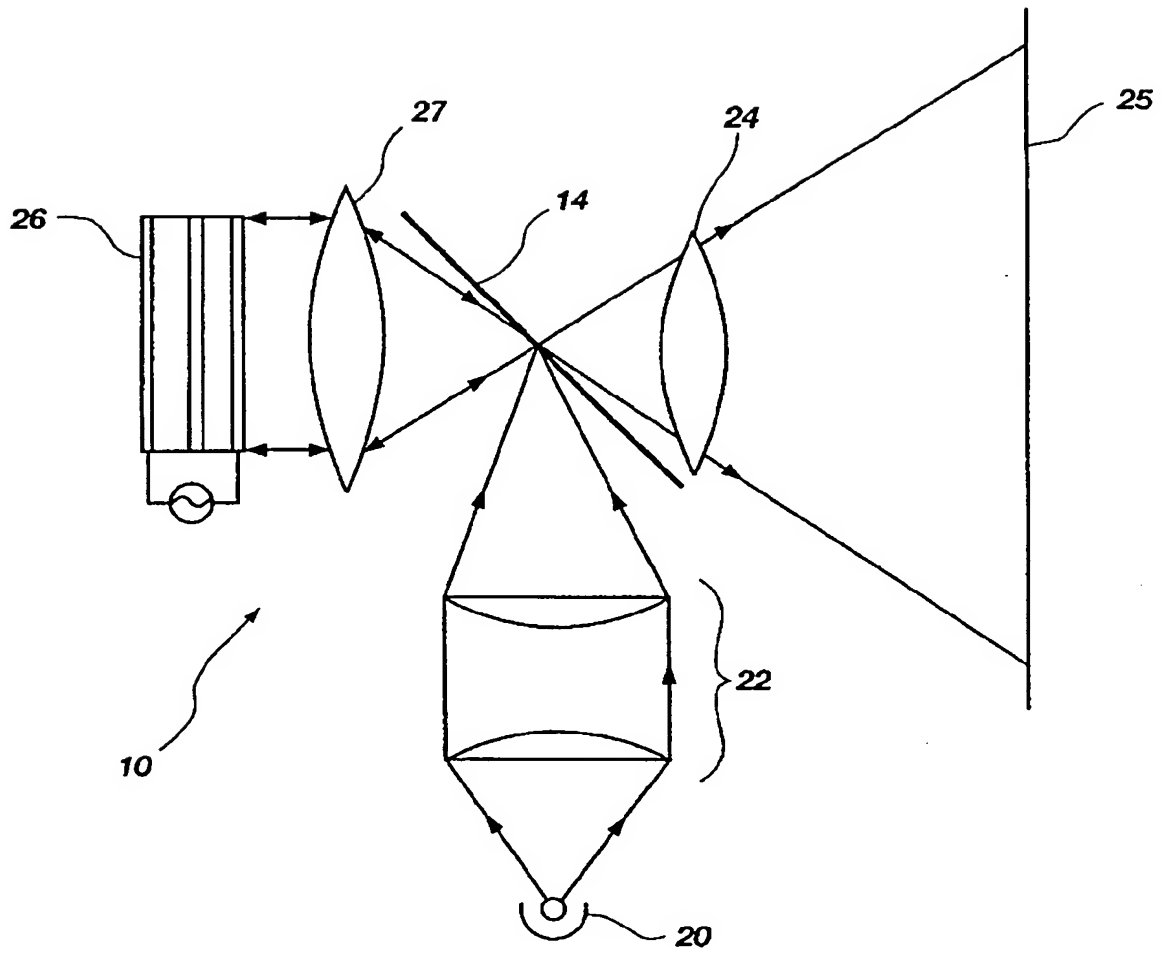
図8 bは、入射角30度および60度での透過消光をグリッド素子の高さの関数として示したグラフ式のプロットである。

図8 cは、入射角30度および60度でのP偏光透過をグリッド素子の高さの関数として示したグラフ式のプロットである。

図8 dは、入射角30度および60度での透過消光をグリッド素子の高さの関数として示したグラフ式のプロットである。

図8 eは、最適化された設計のP偏光透過のグラフ式のプロットである。

【図1】



【図2A・B】

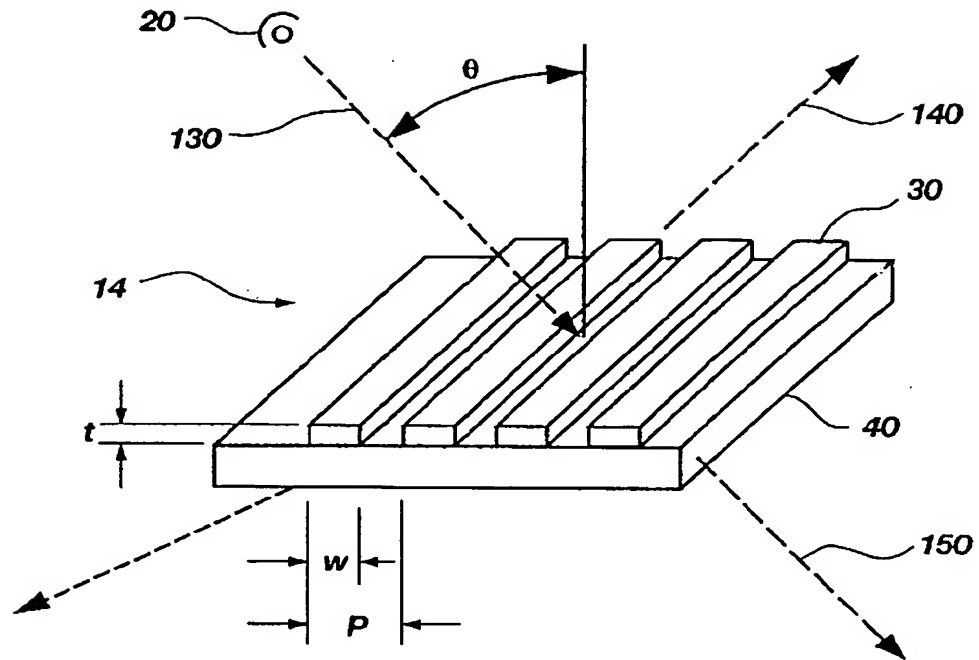


Fig. 2A

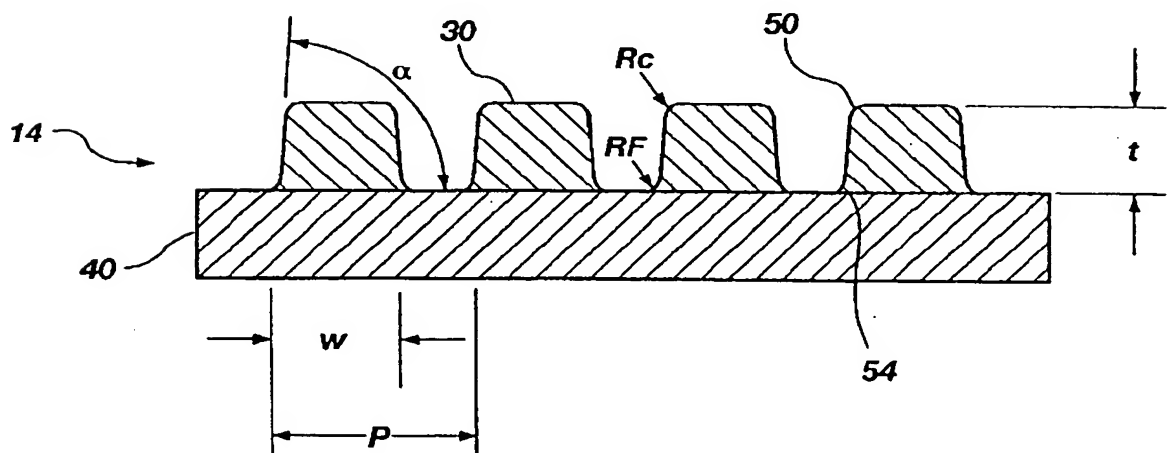
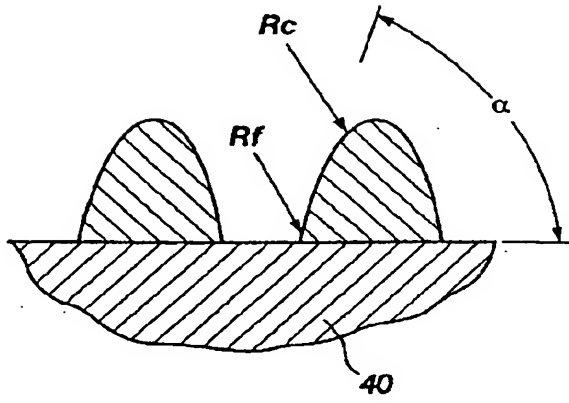
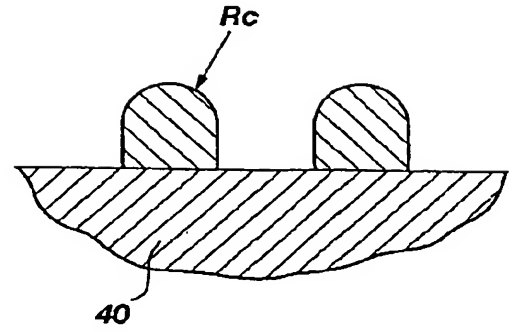


Fig. 2B

【図2C・D】

**Fig. 2d****Fig. 2c**

【図3A】

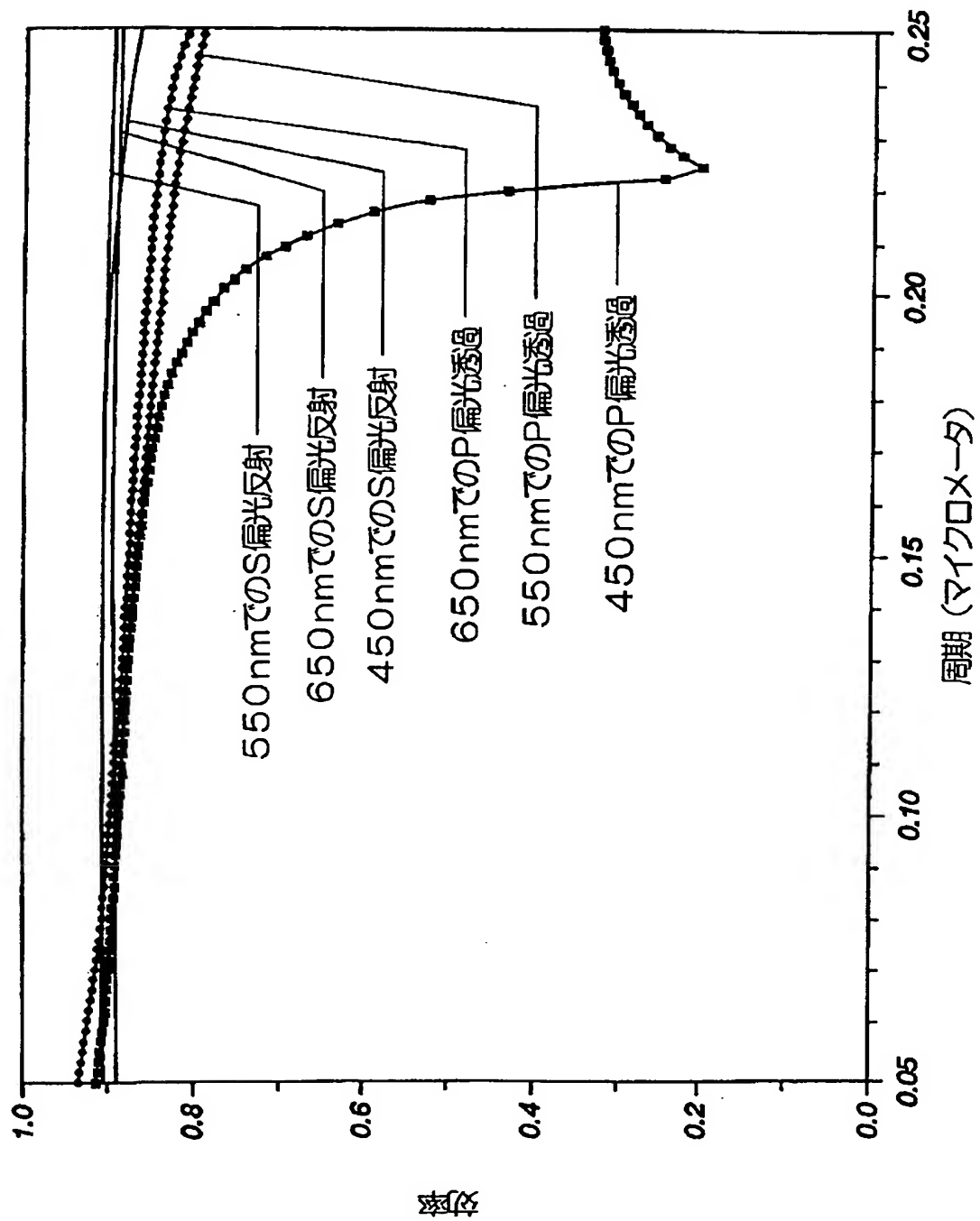


Fig. 3A



【図3B】

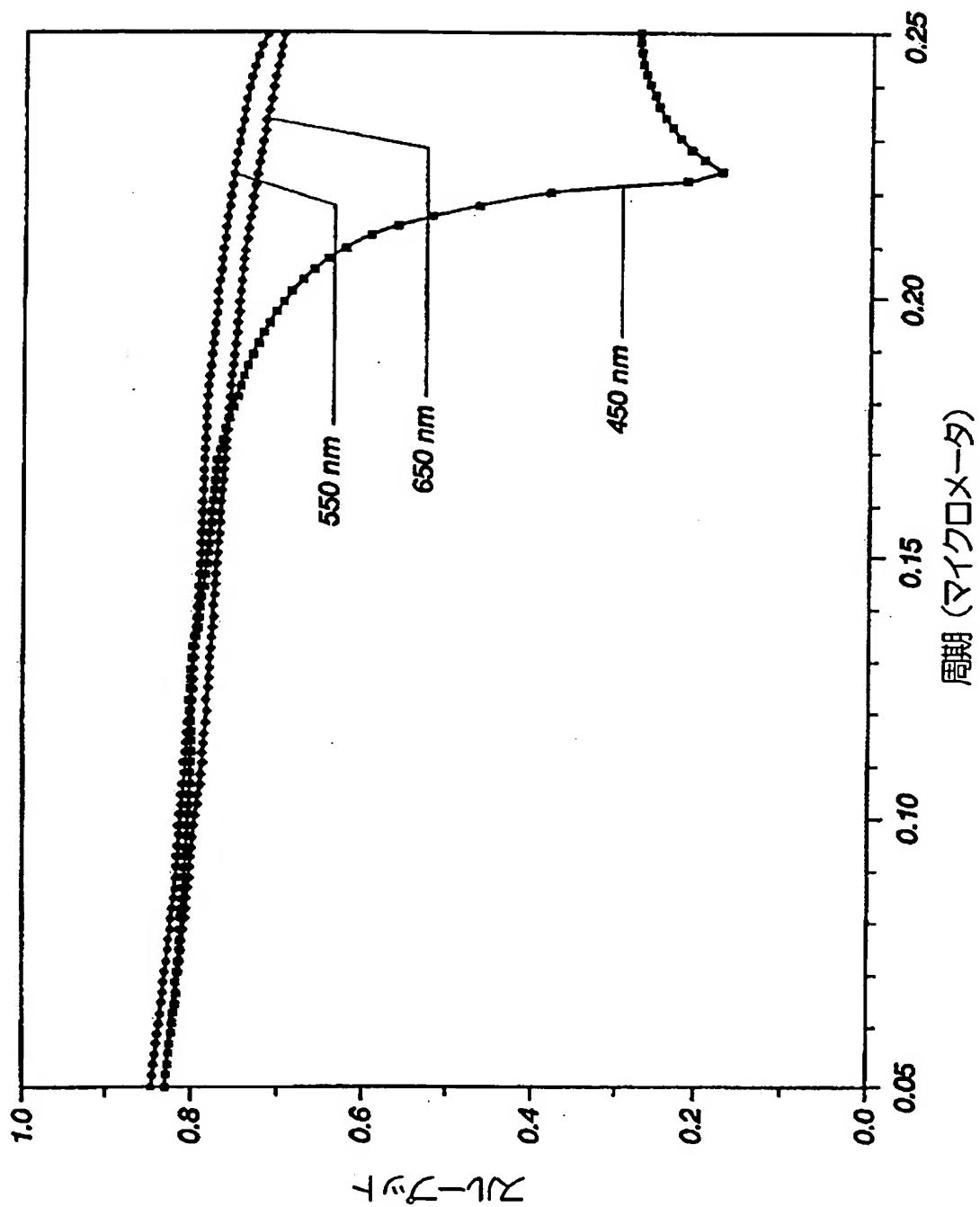


Fig. 3B

【図3C】

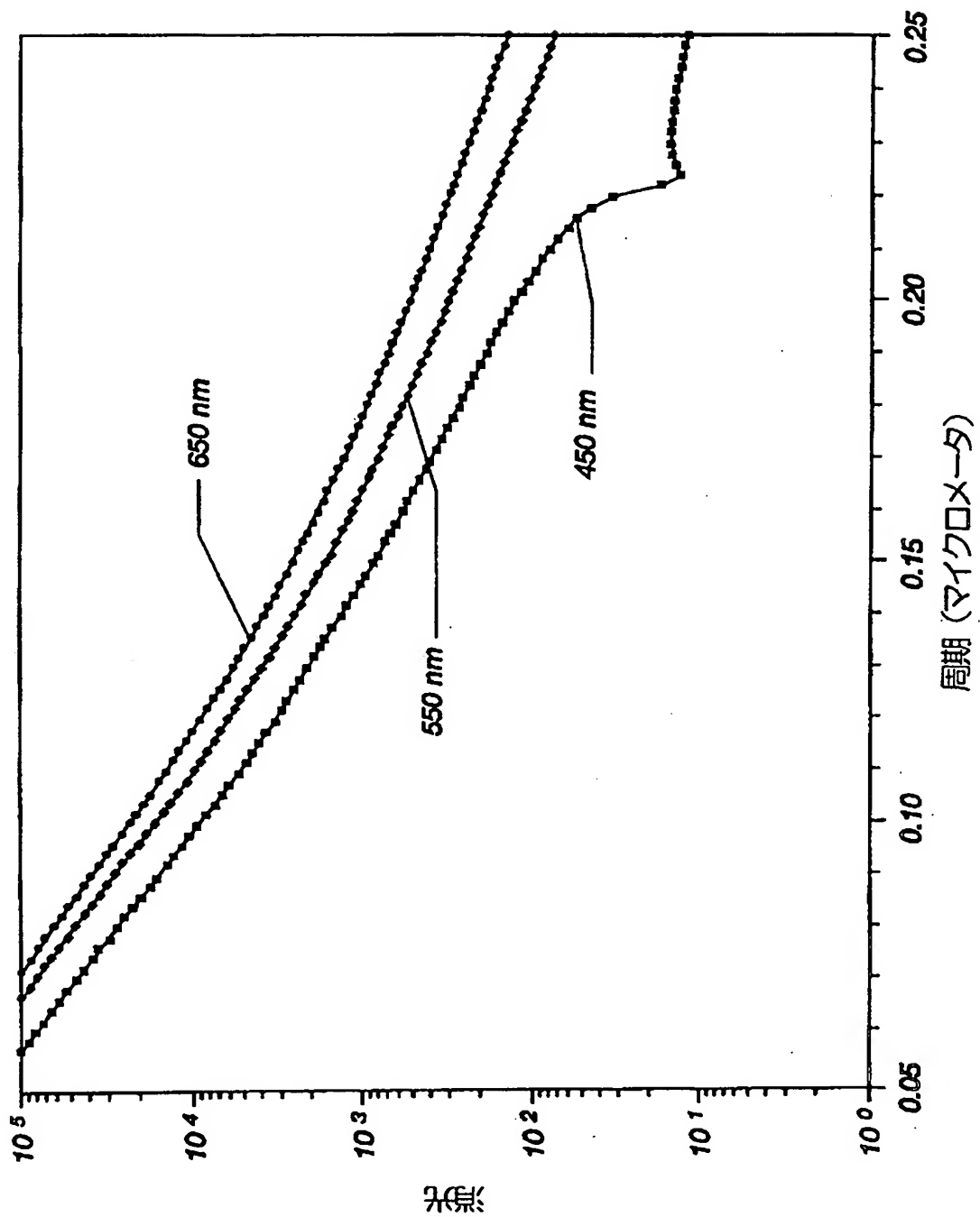


Fig. 3C

【図3D】

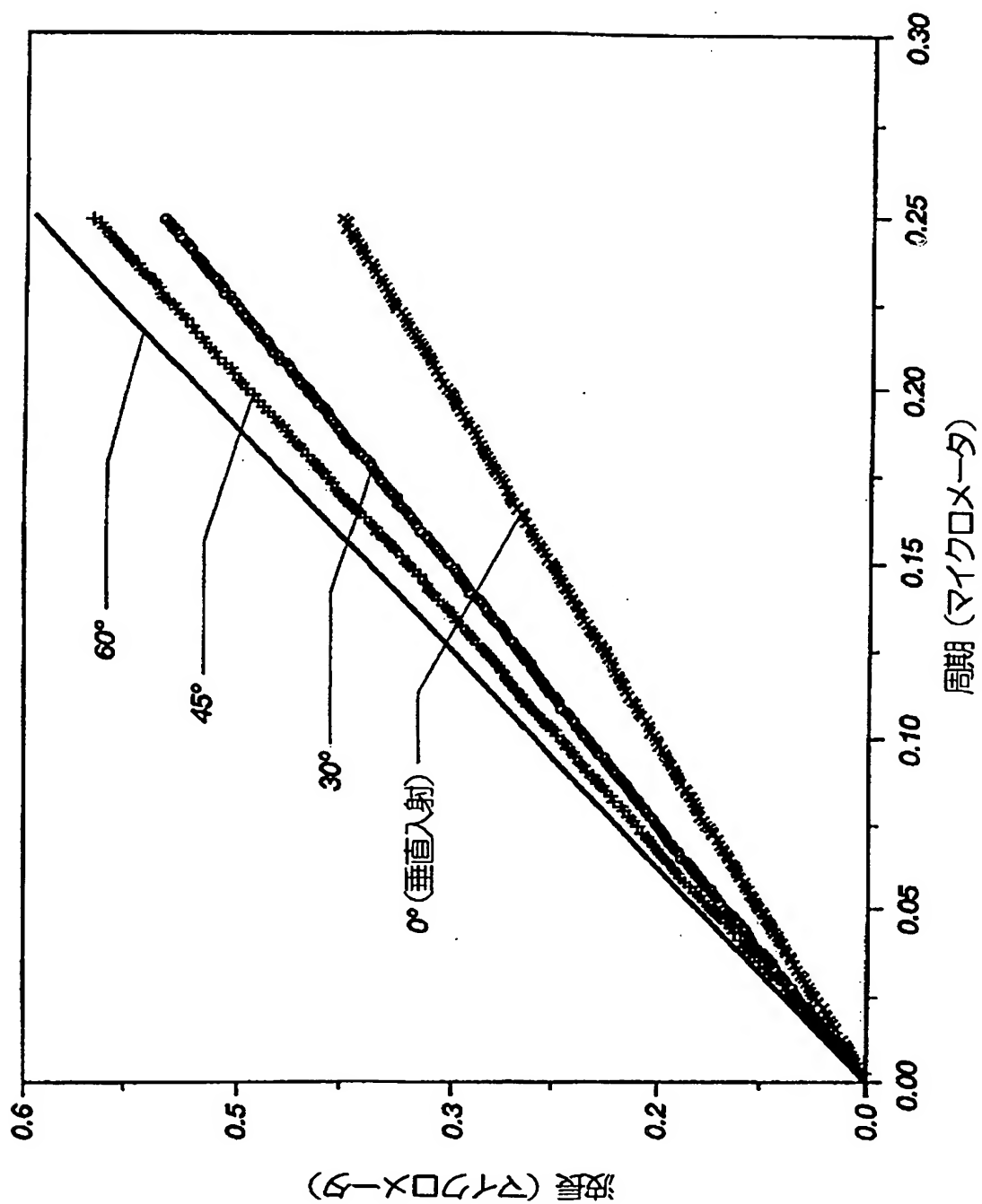


Fig. 3D

【図3E】

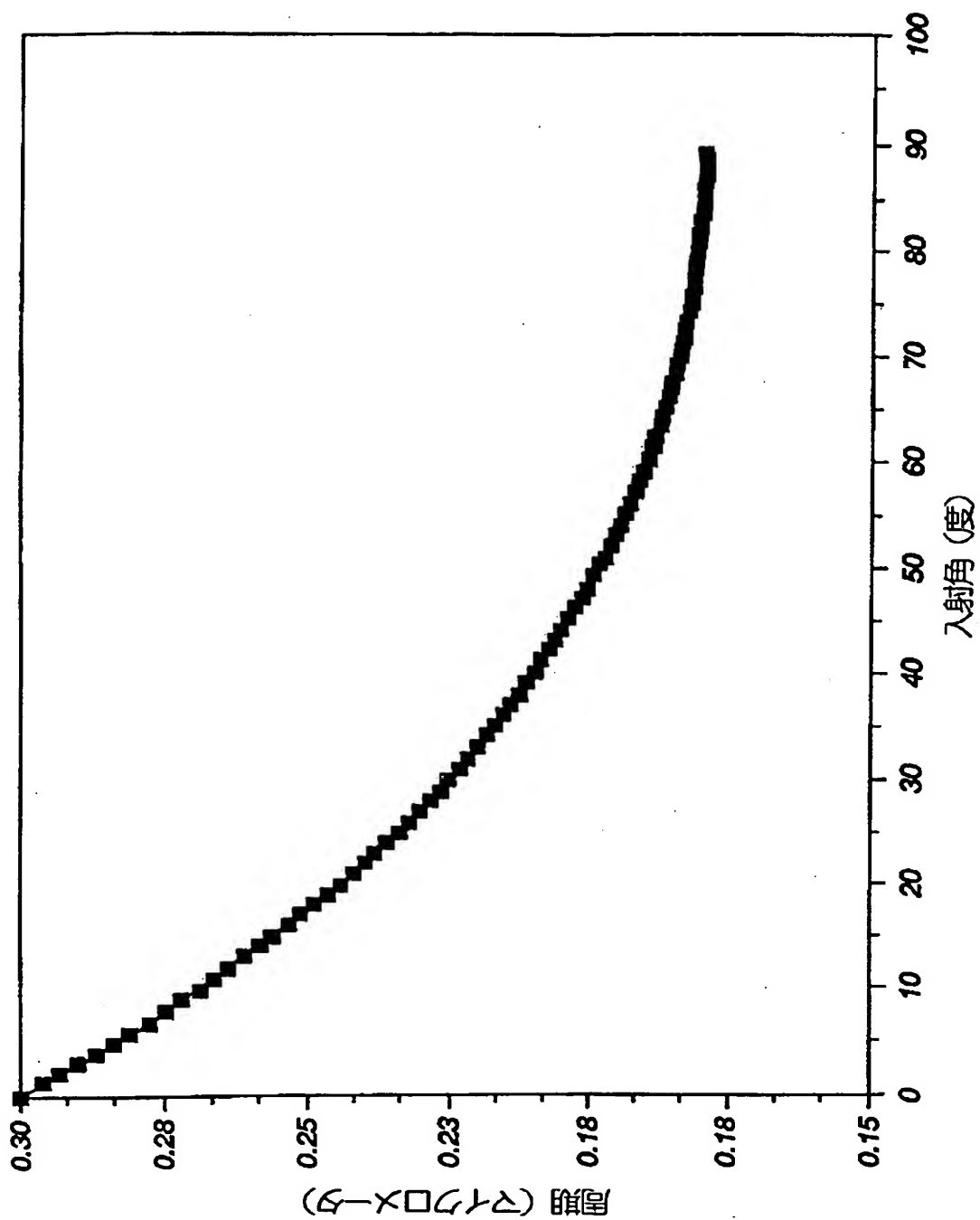


Fig. 3E

【図 4 A】

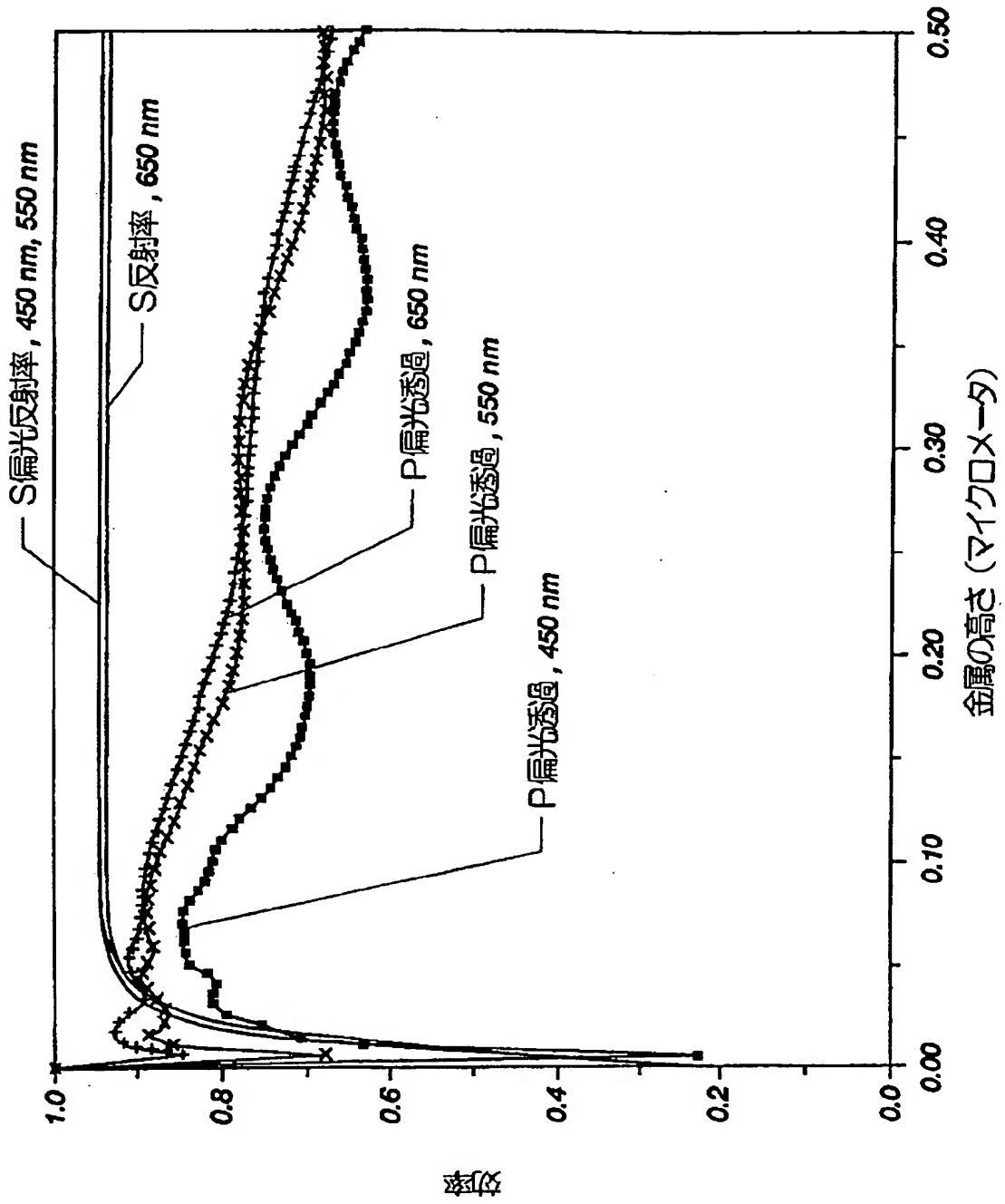


Fig. 4A

【図4B】

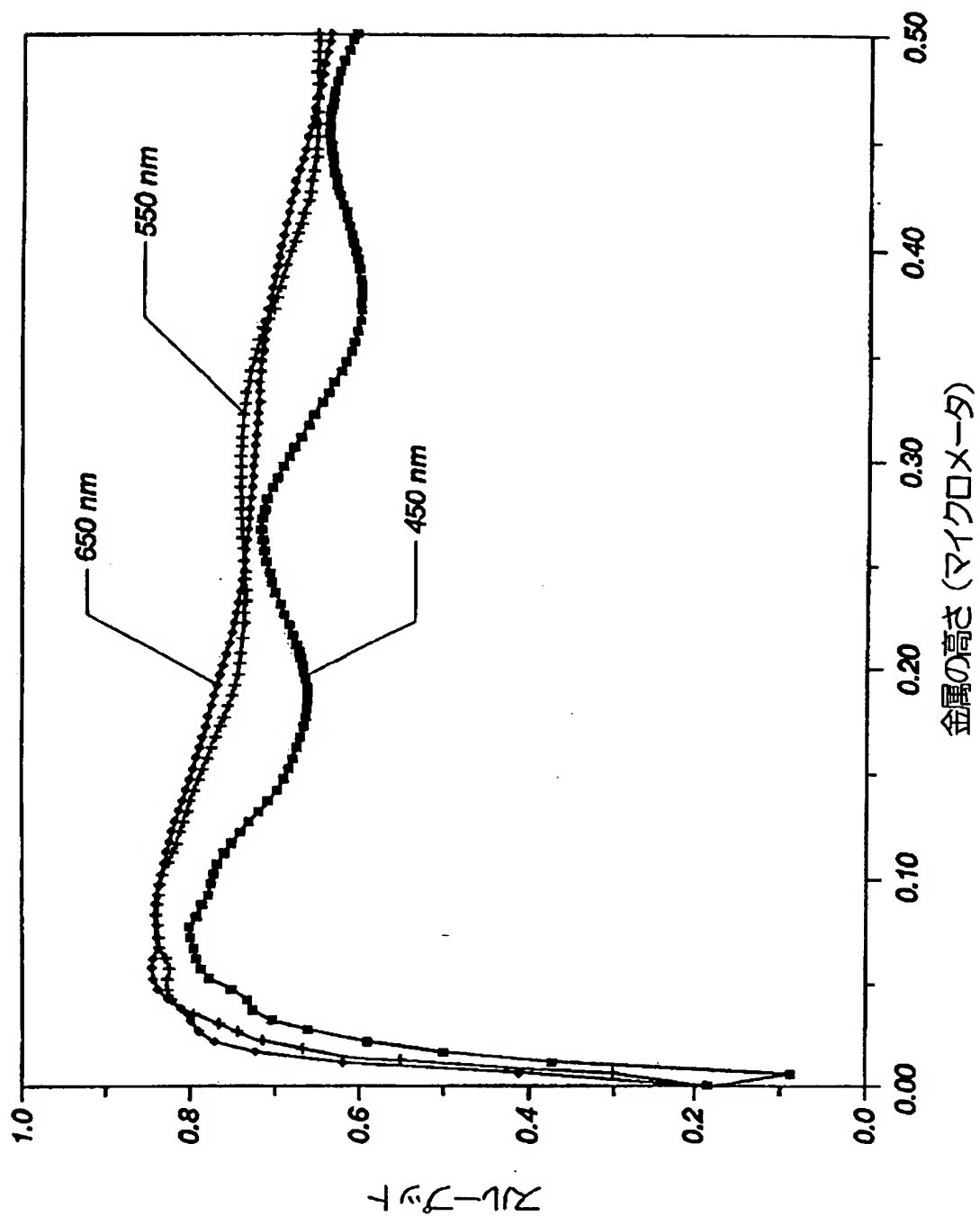


Fig. 4B

【図4C】

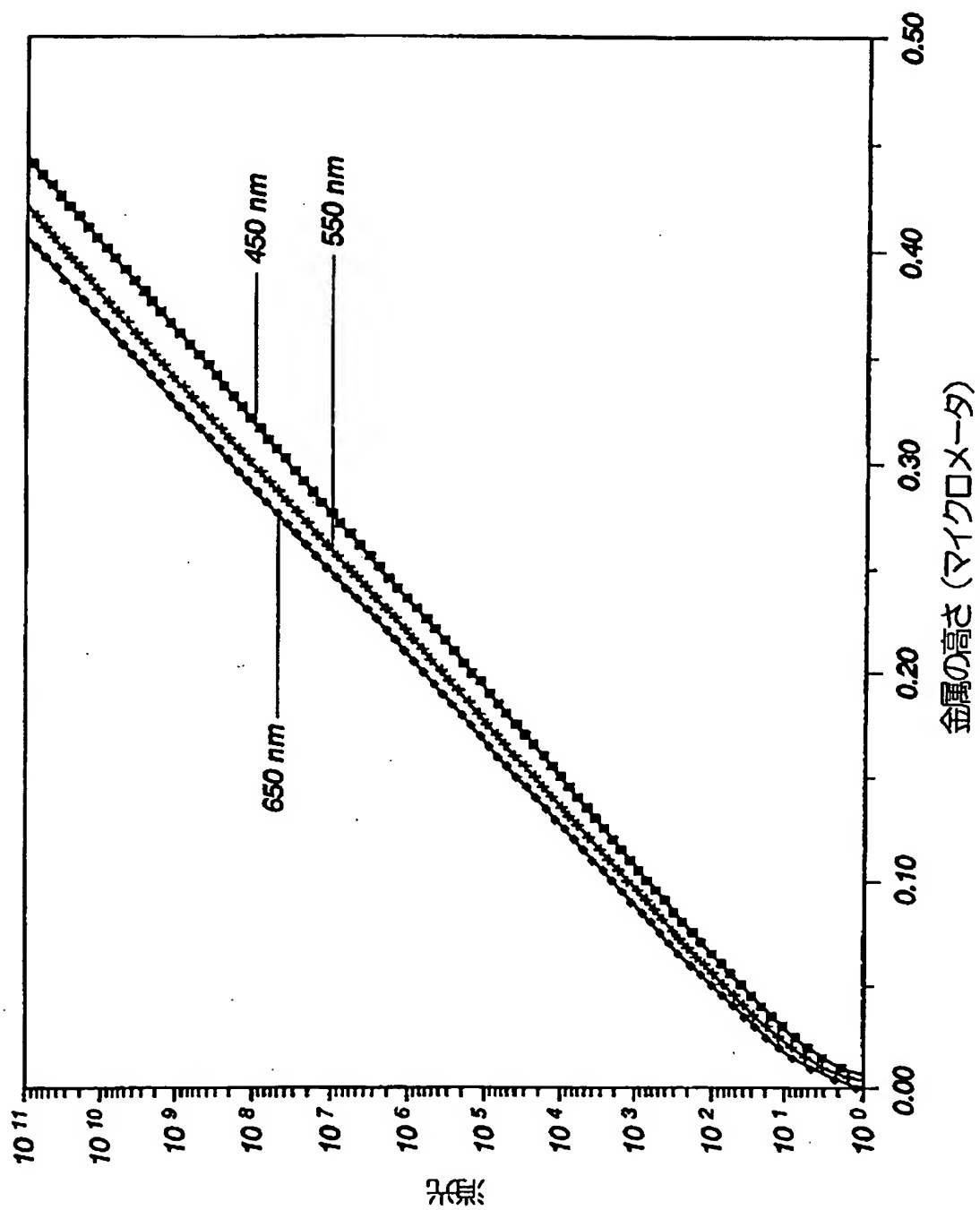


Fig. 4C

【図5A】

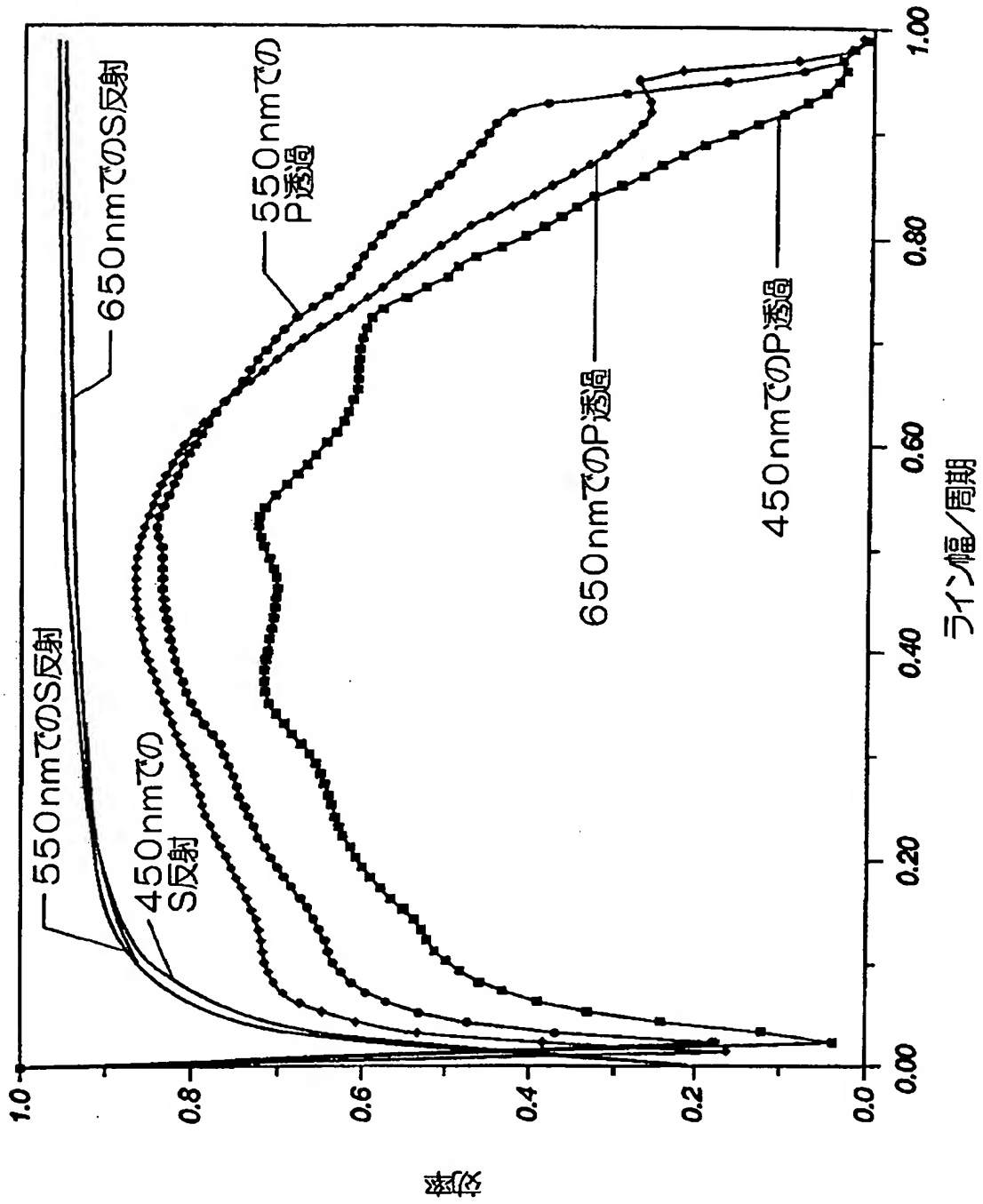


Fig. 5A



【図5B】

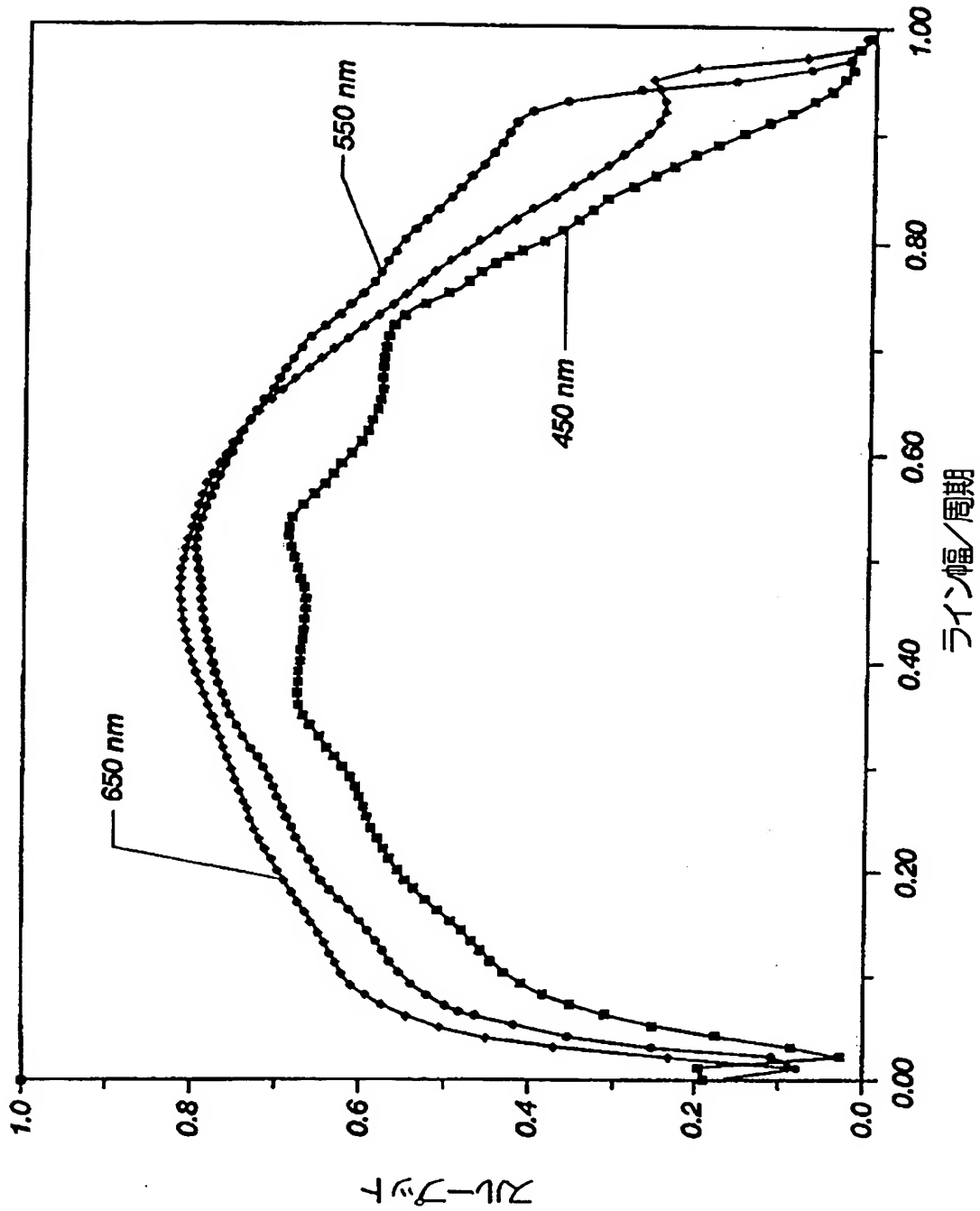


Fig. 5B

【図5C】

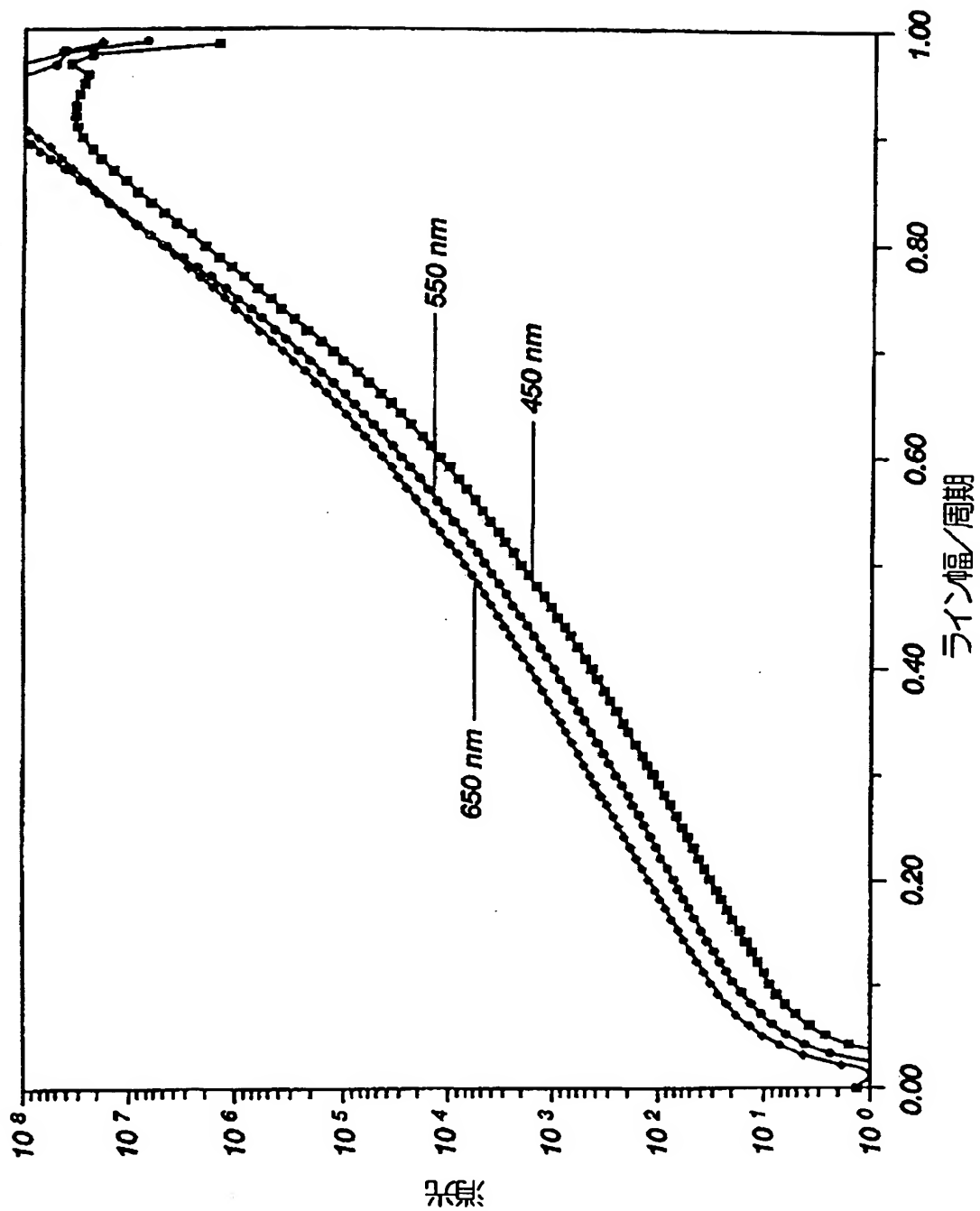


Fig. 5C

【図6A】

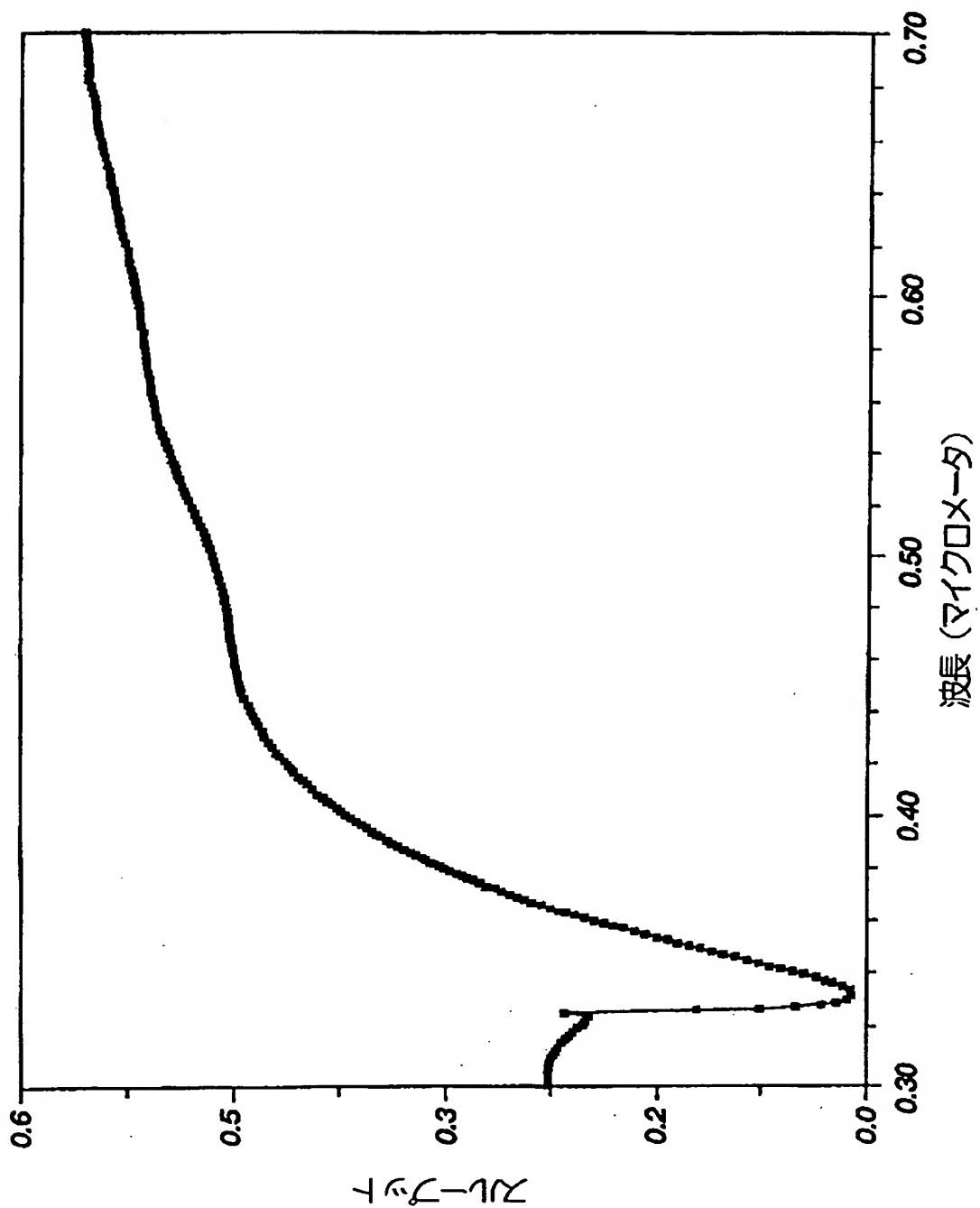


Fig. 6A

【図6B】

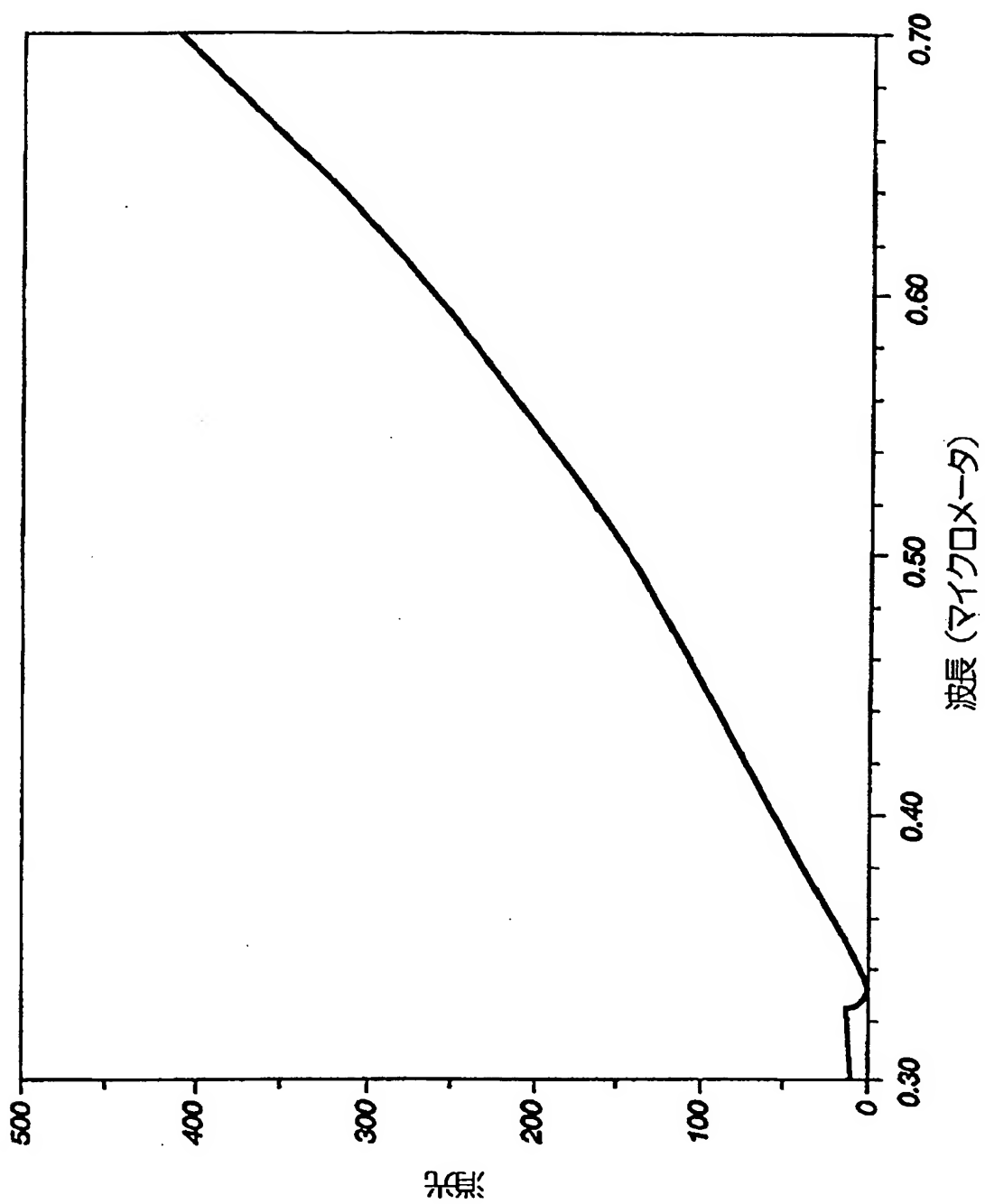


Fig. 6B

【図7A】

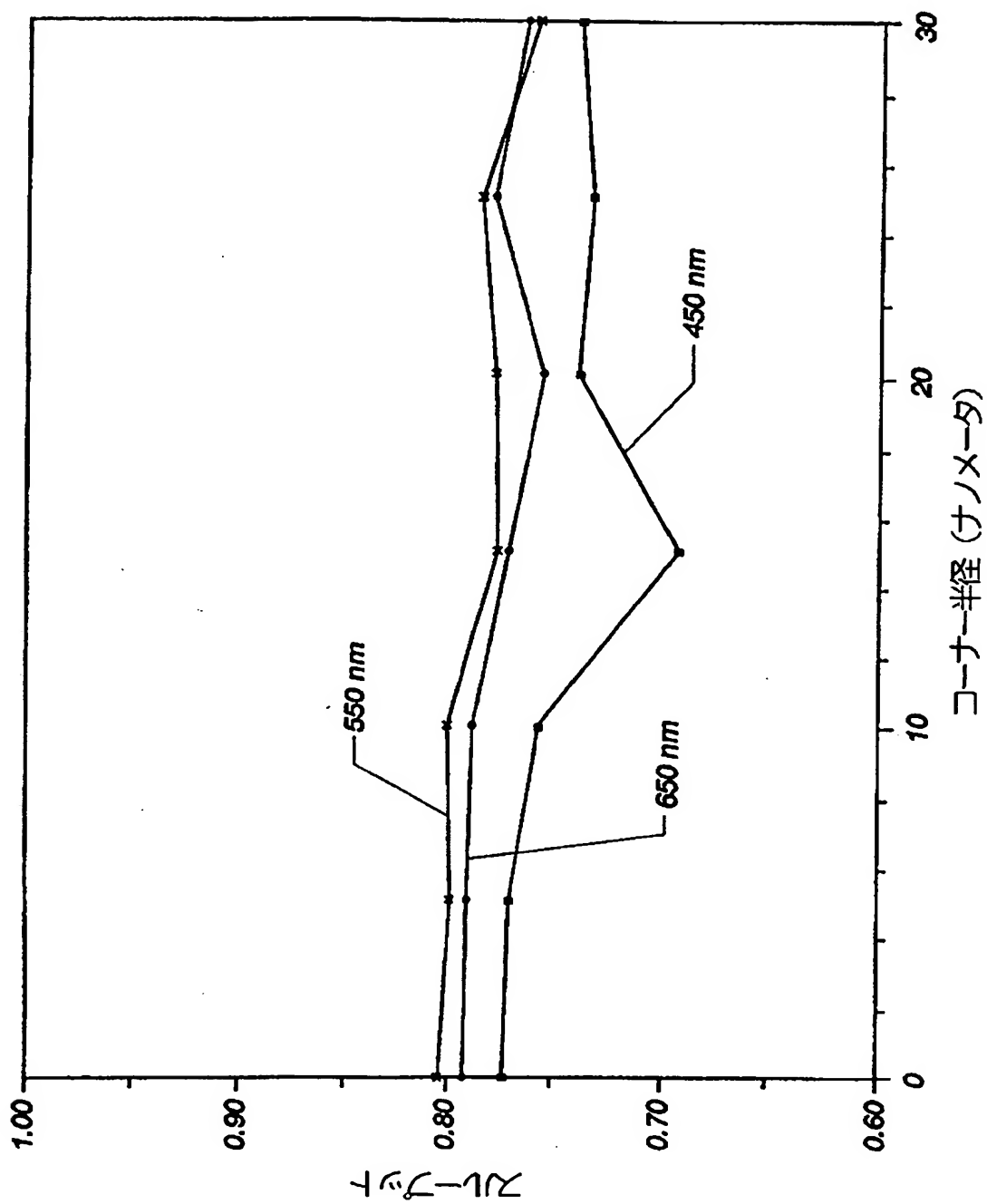


Fig. 7A

【図7B】

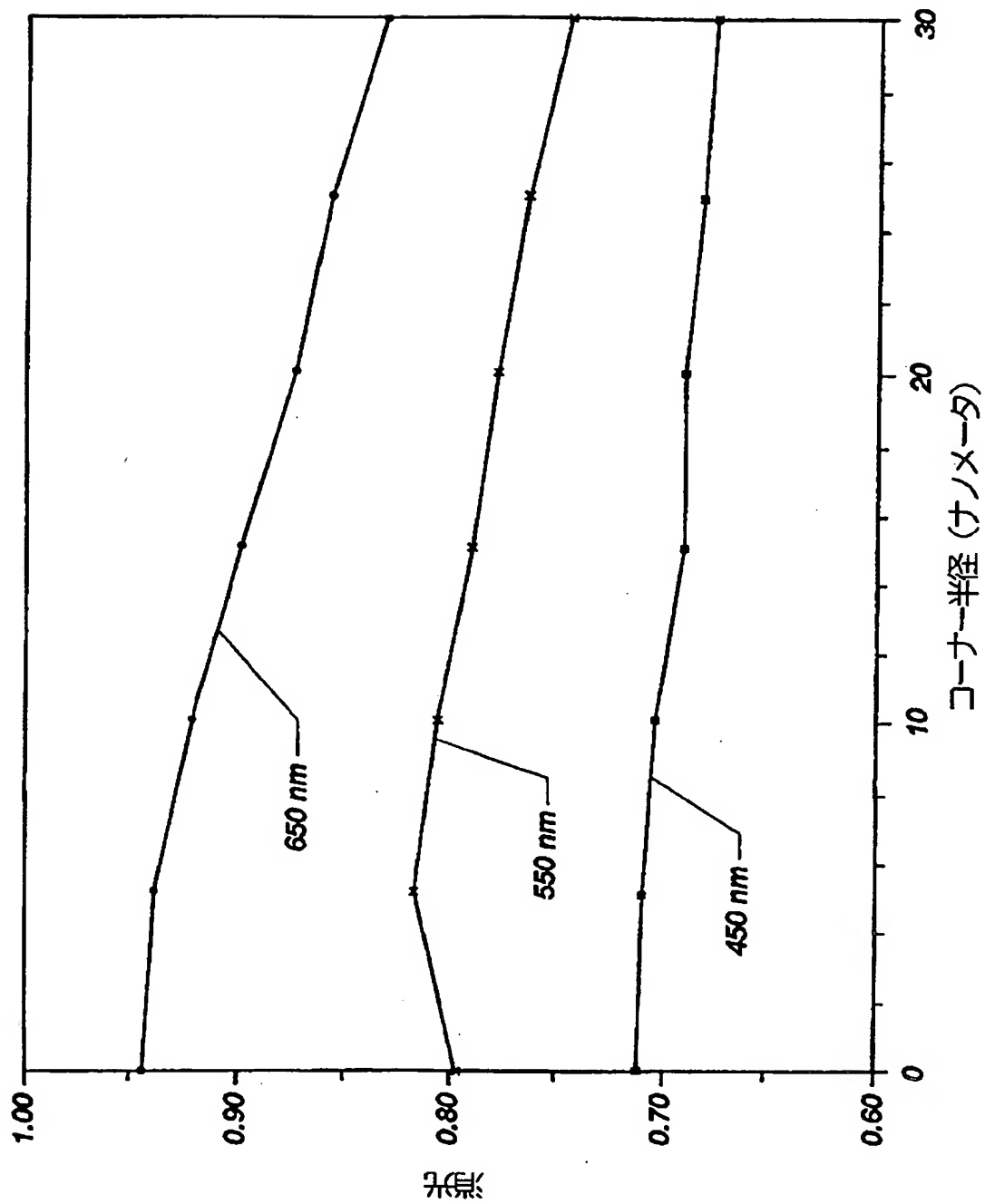


Fig. 7B

【図7C】

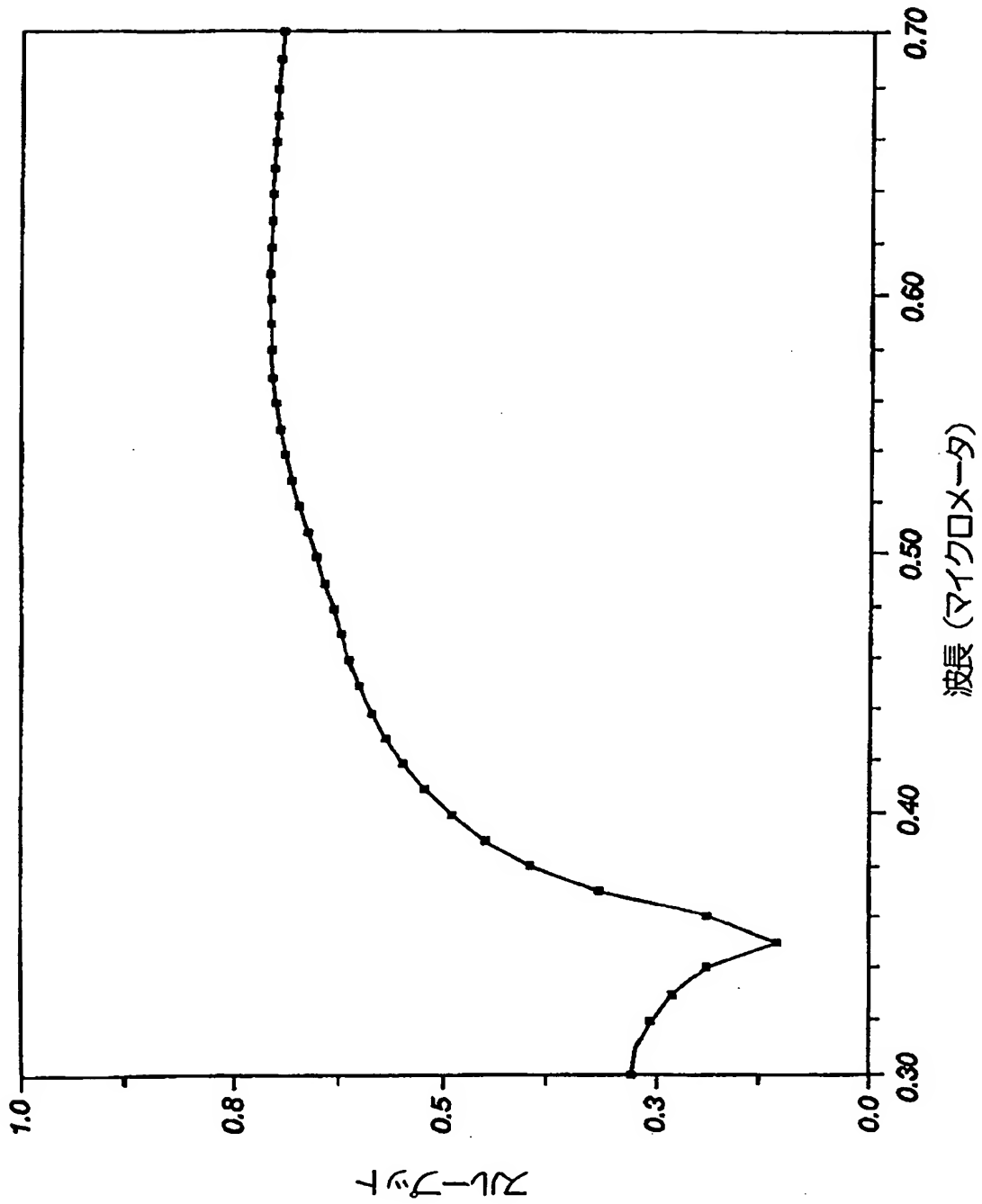


Fig. 7C

【図7D】

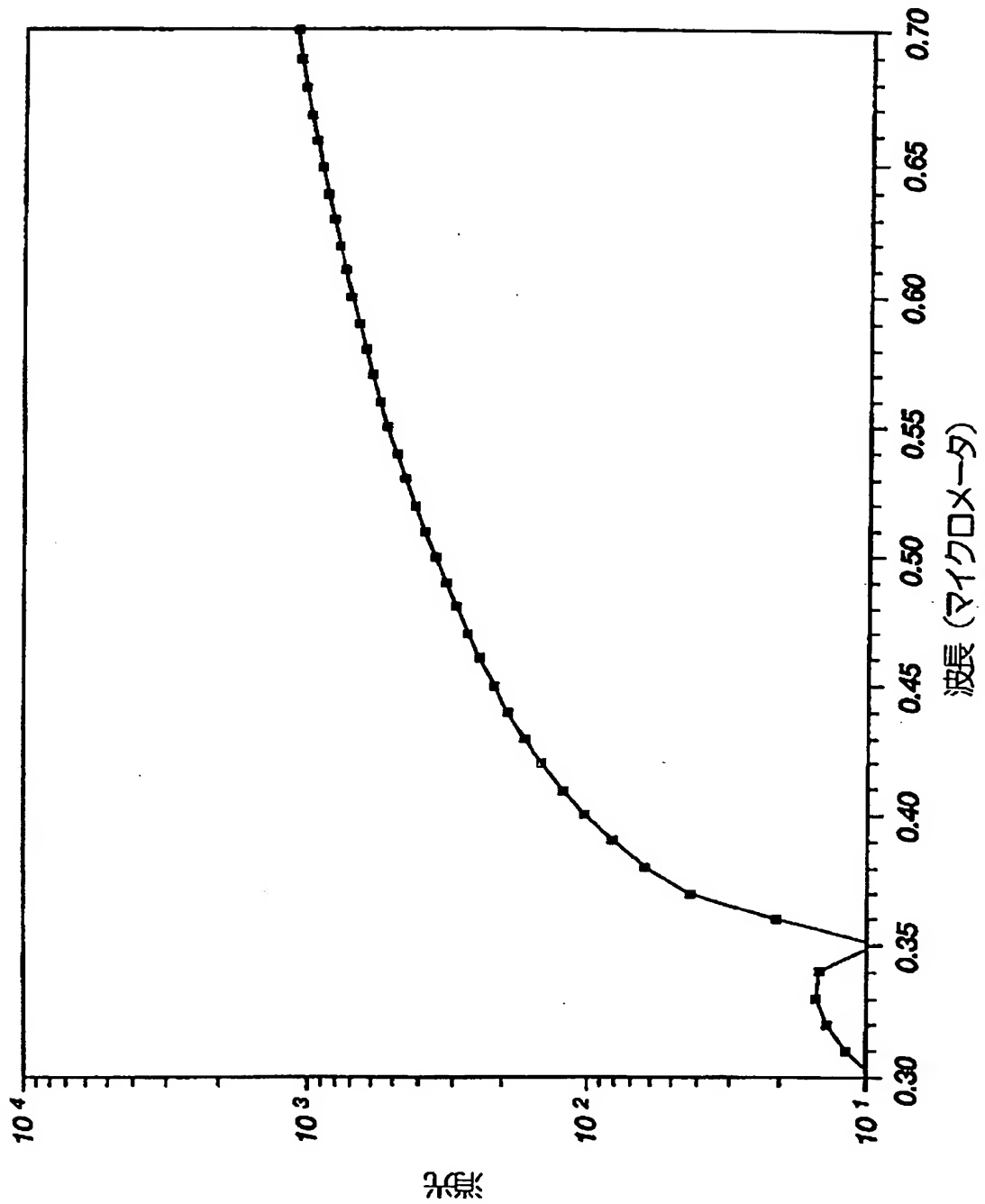


Fig. 7D



【図8A】

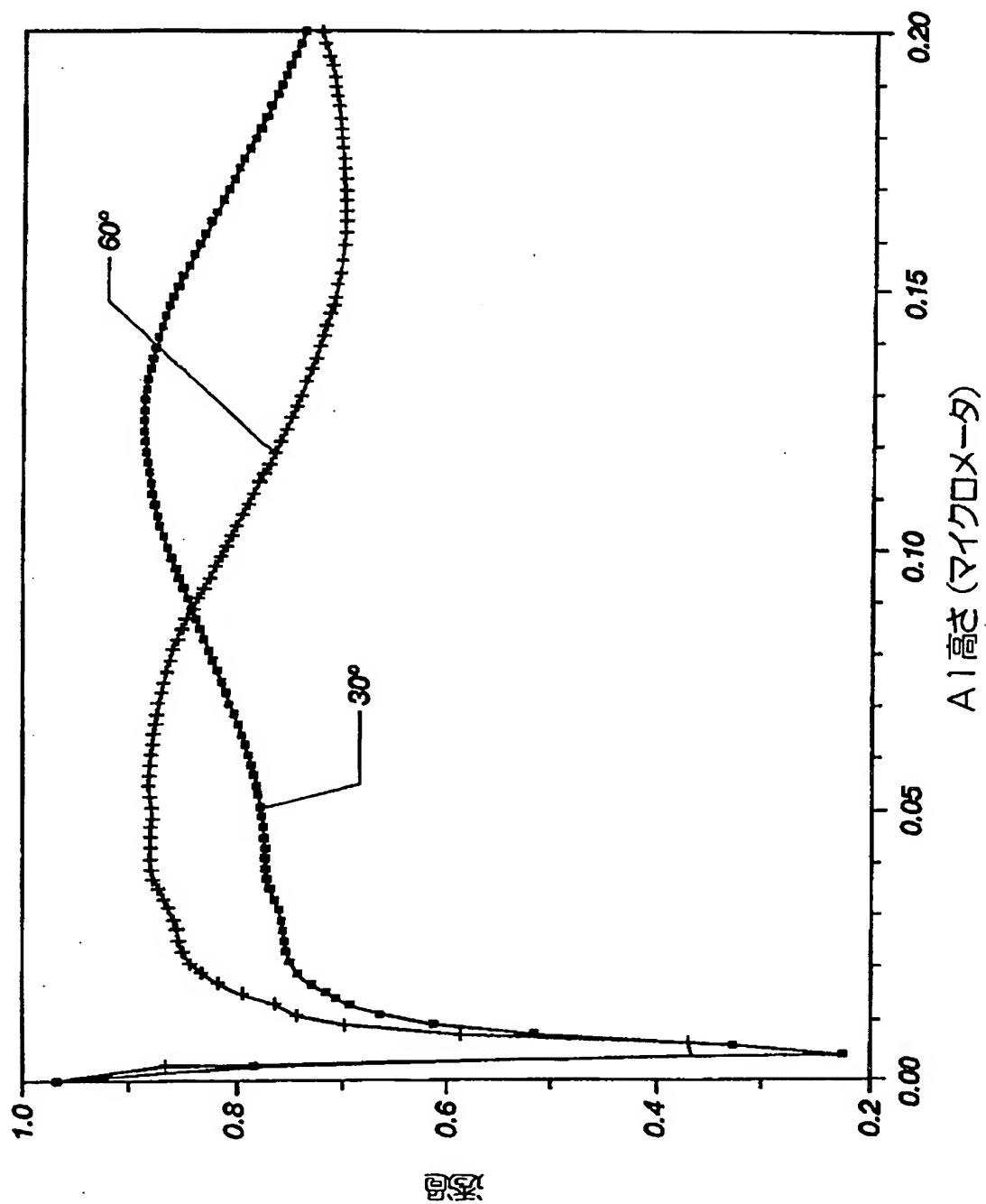
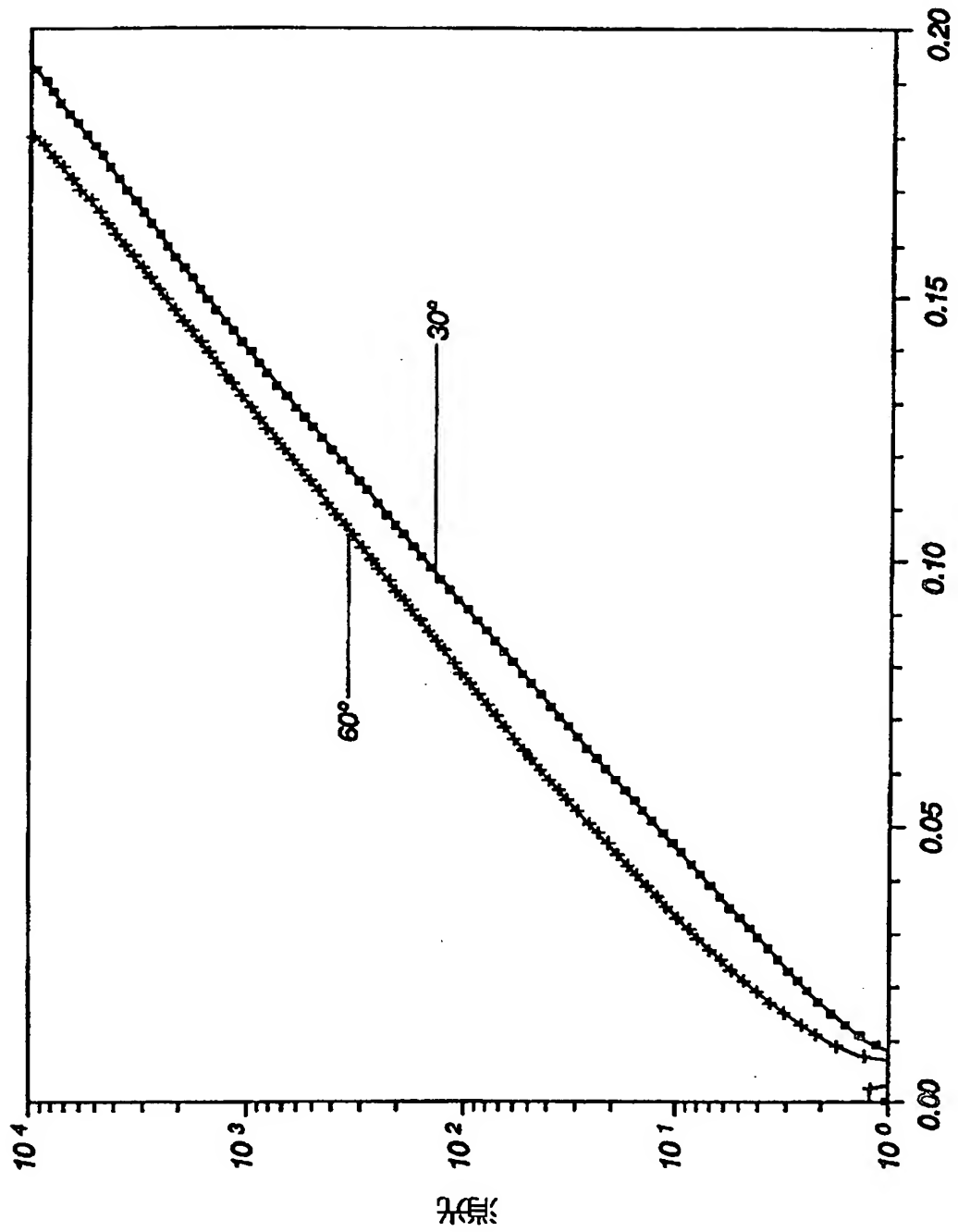


Fig. 8A

【図8B】

A1 高さ  
Fig. 8B

【図8C】

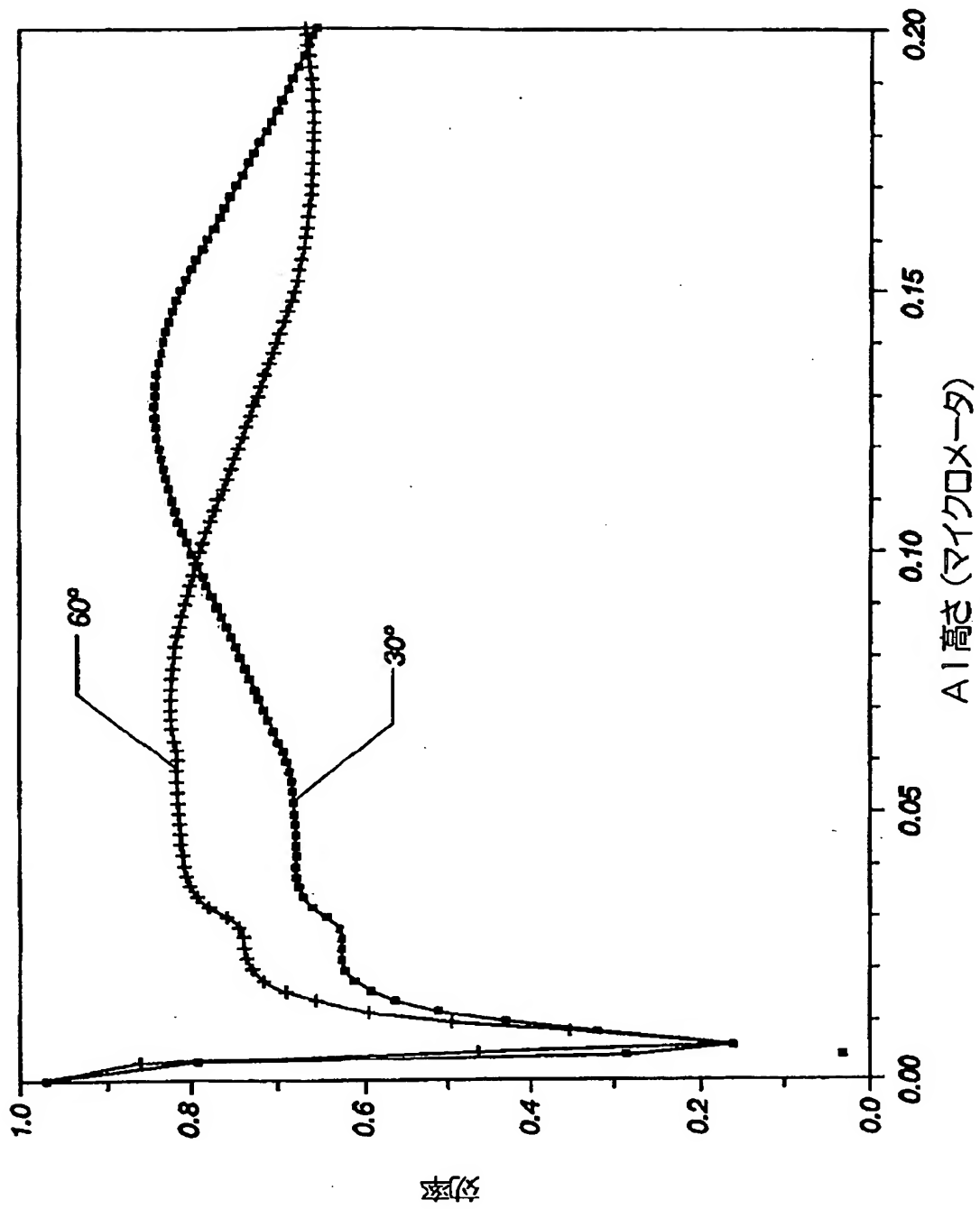


Fig. 8C

【図8D】

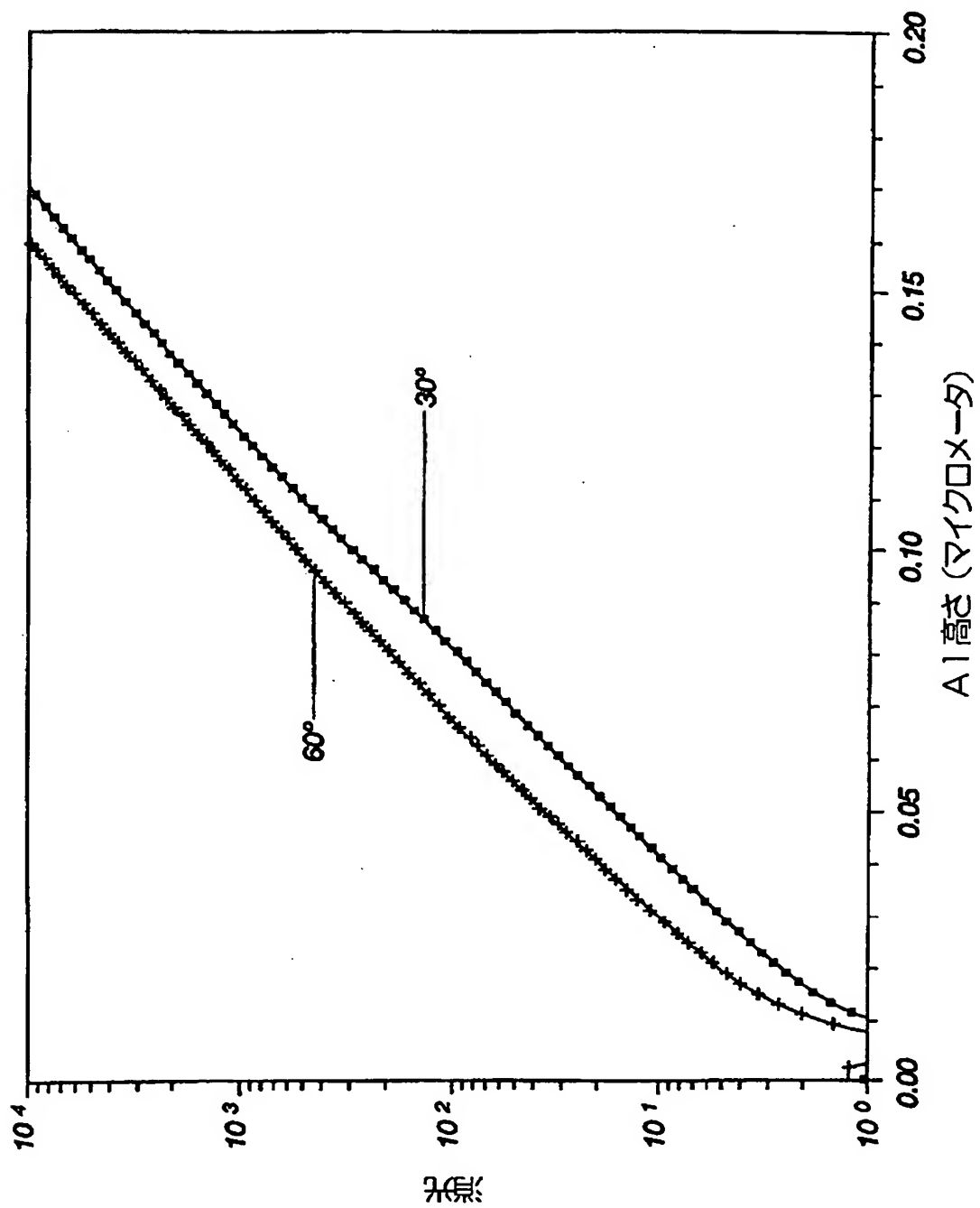


Fig. 8D

【図8E】

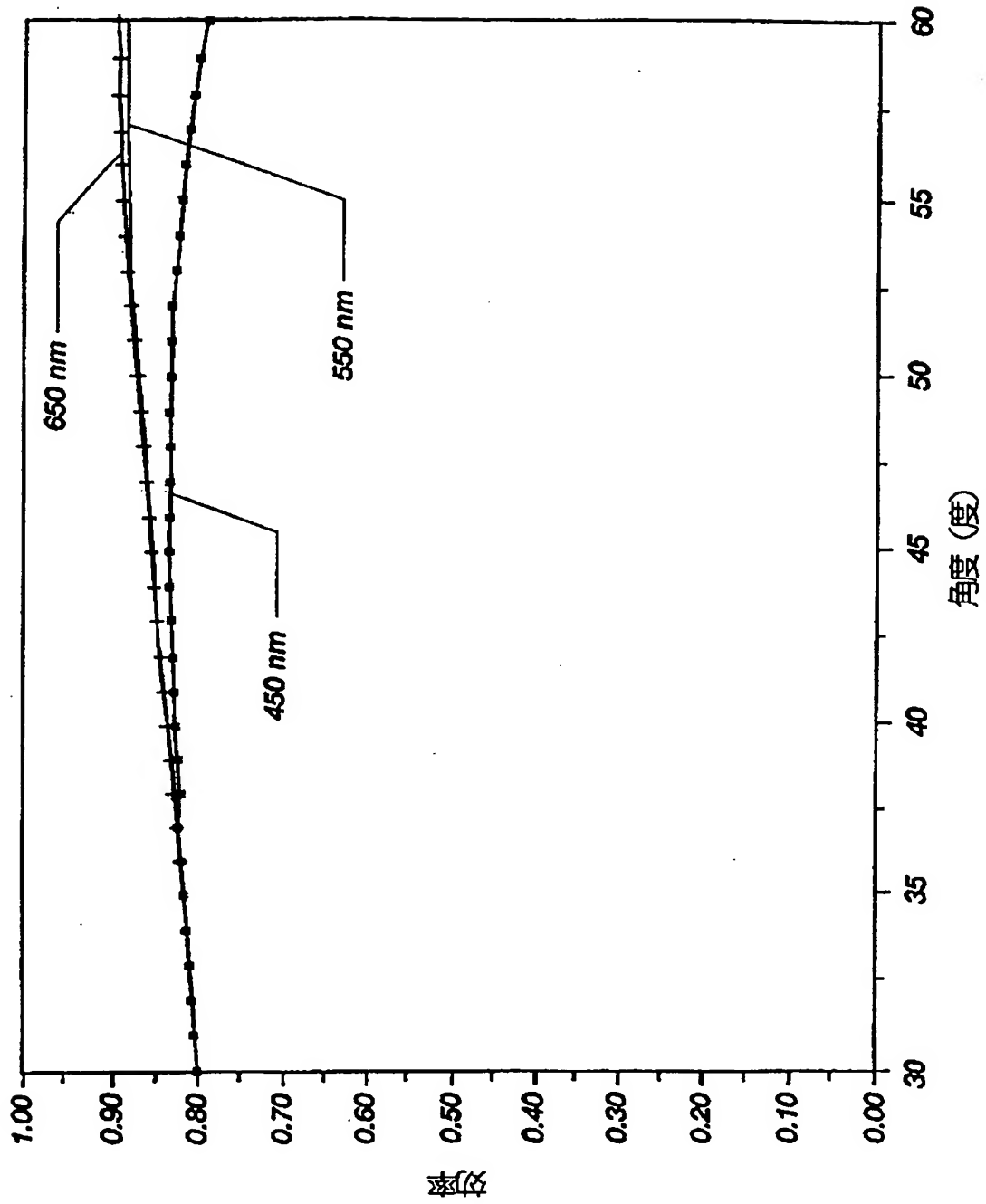


Fig. 8E

【手続補正書】特許協力条約第34条補正の翻訳文提出書

【提出日】平成13年5月16日(2001.5.16)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 効率的に可視光の一方の偏光を反射させ、他方の偏光を透過させる広帯域ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタであって、

可視光内に配列された薄く細長い素子の一般的な平行配列であって、一般的に  
(i) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光を透過させ、(ii) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に配向された偏光を持つ光を反射させるように、可視光の電磁波と相互作用するように配列が構成され素子が一定の大きさに作られた、配列と、

素子の配列が、実質的に全可視スペクトル全域で約50%より大きなスループットを持ち、スループットは一方の偏光の反射光の全反射光に対する部分量と他方の偏光の透過光の全透過光に対する部分量の積により定義されることを特徴とし、

素子の配列が、反射又は透過のいずれかにおいて約50より大きな消光を持つことを特徴とする、ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタ。

【請求項2】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を反射することを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項3】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を透過することを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項4】 素子の配列が約0度から80度の間の入射角に向けて配置されることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項5】 素子の配列が約0.21 $\mu\text{m}$ より小さな周期を有することを

特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項6】 素子が約0.05  $\mu\text{m}$ から0.5  $\mu\text{m}$ の間の厚さを持つことを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項7】 素子が幅の周期に対する比率として約0.25から0.76を有することを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項8】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は、底部に対して約68度から112度の間の角度を形成していることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項9】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は底部に対して異なる角度を形成していることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項10】 素子の各々が丸められた上部を持つことを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項11】 素子の各々が台形型の断面を持つことを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項12】 素子が波長450 nmで0.618の約50%より大きく、波長550 nmで0.958の約50%より大きく、波長650 nmで1.47の約50%より大きい光学定数 $n$ を持つアルミニウムから形成されていることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項13】 素子が波長450 nmで5.47の約50%より大きく、波長550 nmで6.69の約50%より大きく、波長650 nmで7.79の約50%より大きい光学定数 $k$ を持つアルミニウムから形成されていることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項14】 素子が波長459.2 nmで0.144の約80%より大きく、波長563.6 nmで0.120の約80%より大きく、波長652.6 nmで0.140の約80%より大きい光学定数 $n$ を持つ銀から形成されていることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項15】 素子が波長459.2 nmで2.56の約80%より大き

く、波長563.6 nmで3.45の約80%より大きく、波長652.6 nmで4.15の約80%より大きい光学定数 $k$ を持つ銀から形成されていることを特徴とする、請求項1に記載のビームスプリッタ。

【請求項16】 効率的に可視光の一方の偏光を反射させ、他方の偏光を透過させる広帯域ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタであって、

可視光内に配列された薄く細長い素子の一般的な平行配列であって、一般的に  
(i) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光を透過させ、(ii) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に配向された偏光を持つ光を反射させるように、可視光の電磁波と相互作用するように配列が構成され素子が一定の大きさに作られた、配列と、

素子の配列が、約50%より大きなスループットを持ち、スループットは一方の偏光の反射光の全反射光に対する部分量と他方の偏光の透過光の全透過光に対する部分量の積により定義されることを特徴とし、

素子の配列が約50より大きな消光を持つことを特徴とし、

素子の配列が約0.21  $\mu\text{m}$ より小さな周期を持つことを特徴とする、ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタ。

【請求項17】 素子が約0.05  $\mu\text{m}$ から0.5  $\mu\text{m}$ の間の厚さを持つことを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項18】 素子が幅の周期に対する比率として約0.25から0.76を持つことを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項19】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を反射することを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項20】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を透過することを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項21】 素子の配列が約0度から80度の間の入射角に向けて配置されることを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項22】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は、底部に対して約68度から



112度の間の角度を形成していることを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項23】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は底部に対して異なる角度を形成していることを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項24】 素子の各々が丸められた上部を持つことを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項25】 素子の各々が台形型の断面を持つことを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項26】 素子が波長450nmで0.618の約50%より大きく、波長550nmで0.958の約50%より大きく、波長650nmで1.47の約50%より大きい光学定数 $n$ を持つアルミニウムから形成されていることを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項27】 素子が波長450nmで5.47の約50%より大きく、波長550nmで6.69の約50%より大きく、波長650nmで7.79の約50%より大きい光学定数 $k$ を持つアルミニウムから形成されていることを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項28】 素子が光学定数 $n$ および $k$ を持つ銀から形成されることを特徴とし、 $n$ は波長459.2nmで0.144の約80%より大きく、波長563.6nmで0.120の約80%より大きく、波長652.6nmで0.140の約80%より大きく、 $k$ は波長459.2nmで2.56の約80%より大きく、波長563.6nmで3.45の約80%より大きく、波長652.6nmで4.15の約80%より大きいことを特徴とする、請求項16に記載のビームスプリッタ。

【請求項29】 効率的に可視光の一方の偏光を反射させ、他方の偏光を透過させる広帯域ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタであって、

約0.4から0.7ミクロンの間の範囲の波長を持つ光源ビームを放射する光源と、

可視光内に配列された薄く細長い素子の一般的な平行配列であって、一般的に

(i) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光を透過させ、(ii) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に配向された偏光を持つ光を反射させるように、実質的に全可視スペクトル全域で光源ビームの電磁波と相互作用するように配列が構成され素子が一定の大きさに作られた、配列と、

素子の配列が約0.21  $\mu\text{m}$ より小さな周期を持つことを特徴とし、

素子が約0.05から0.5  $\mu\text{m}$ の間の厚さを持つことを特徴とし、

素子が幅の周期に対する比率として約0.25から0.76の間の値を持つことを特徴とする、ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタ。

【請求項30】 素子の配列が、実質的に可視スペクトル全域で約50%より大きなスループットを持ち、スループットが一方の偏光の反射光の全反射光に対する部分量と他方の偏光の透過光の全透過光に対する部分量の積により定義されることを特徴とし、

素子の配列が、全反射光に対する一偏光の反射光の部分量と全透過光に対する他方の偏光の透過光の部分量との積により定義される約50%より大きなスループットを持つことを特徴とし、

素子の配列が約50より大きな消光を持つことを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項31】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を反射することを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項32】 素子の配列が一方の偏光の少なくとも67%を透過することを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項33】 素子の配列が約0度から80度の間の入射角に向けて配置されることを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項34】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を持つ台形型の断面を持っており、側部は、底部に対して約68度から112度の間の角度を形成していることを特徴とする、請求項29に記載のビームスプリッタ。

【請求項35】 素子の各々が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左

ステップと、

決定された素子の厚さで入射角の上限および下限の両方における消光を決定するステップと、

所定の消光に達するまで少なくとも一つのパラメータを変化しつつ上述のステップを繰り返すステップと、

を含む方法。

【請求項42】 所望範囲内の異なる様々な入射角および可視スペクトル内の様々な波長に対する透過効率を決定するステップと、

透過効率が少なくとも80%になり、一般的に可視スペクトル全域で同じになるまで少なくとも一つのパラメータを変化させて上述ステップを繰り返すステップと、

をさらに含むことを特徴とする、請求項41に記載の方法。

【請求項43】 ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタであって、

可視光内に配列されるように構成された薄く細長い素子の一般的な平行配列であって、一般的に(i)少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光を透過させ、(ii)少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に配向された偏光を持つ光を反射させるように、可視光の電磁波と相互作用するように配列が構成され素子が一定の大きさに作られた、配列と、

素子の配列が、一方の偏光の反射光の全反射光に対する部分量と他方の偏光の透過光の全透過光に対する部分量の積により定義される約50%より大きなスループットを持つことを特徴とし、

素子の配列が、反射又は透過のいずれかにおいて約50より大きな消光を持つことを特徴とすることを特徴とし、

少なくともいくつかの素子が底部、底部の反対側の上部、向かい合った左右の側部を有する台形型の断面を持つことを特徴とし、

側部が底部に対して異なる角度を形成していることを特徴とする、ワイヤグリッド偏光ビームスプリッタ。

【請求項44】 ワイヤグリッドビームスプリッタであって、

可視光内に配列されるように構成された薄く細長い素子の一般的な平行配列であって、一般的に (i) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光を透過させ、(ii) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に配向された偏光を持つ光を反射させるように、可視光の電磁波と相互作用するように配列が構成され素子が一定の大きさに作られた、配列と、

素子の配列が、一方の偏光の反射光の全反射光に対する部分量と他方の偏光の透過光の全透過光に対する部分量の積により定義される約50%より大きなスループットを持つことを特徴とし、

素子の配列が、反射又は透過のいずれかにおいて約50より大きな消光を持つことを特徴とすることを特徴とし、

少なくともいくつかの素子が丸められた上部を持つことを特徴とする、ワイヤグリッドビームスプリッタ。

【請求項45】 ワイヤグリッドビームスプリッタであって、

可視光内に配列されるように構成された薄く細長い素子の一般的な平行配列であって、一般的に (i) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光を透過させ、(ii) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に配向された偏光を持つ光を反射させるように、可視光の電磁波と相互作用するように配列が構成され素子が一定の大きさに作られた、配列と、

素子の配列が、一方の偏光の反射光の全反射光に対する部分量と他方の偏光の透過光の全透過光に対する部分量の積により定義される約50%より大きなスループットを持つことを特徴とし、

素子の配列が、反射又は透過のいずれかにおいて約50より大きな消光を持つことを特徴とすることを特徴とし、

少なくともいくつかの素子がシヌソイド型の断面を持つことを特徴とする、ワイヤグリッドビームスプリッタ。

【請求項46】 ワイヤグリッドビームスプリッタであって、

可視光内に配列されるように構成された薄く細長い素子の一般的な平行配列で

あって、一般的に (i) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に垂直に配向された偏光を持つ光を透過させ、(ii) 少なくとも一つの素子および入射光ビームの方向を含む平面に配向された偏光を持つ光を反射させるように、可視光の電磁波と相互作用するように配列が構成され素子が一定の大きさに作られた、配列と、

素子の配列が、一方の偏光の反射光の全反射光に対する部分量と他方の偏光の透過光の全透過光に対する部分量の積により定義される約50%より大きなスループットを持つことを特徴とし、

素子の配列が、反射又は透過のいずれかにおいて約50%より大きな消光を持つことを特徴とすることを特徴とし、

素子が波長459.2nmで0.144の約80%より大きく、波長563.6nmで0.120の約80%より大きく、波長652.6nmで0.140の約80%より大きい光学定数 $n$ を持つ銀から形成されていることを特徴とし、

素子が波長459.2nmで2.56の約80%より大きく、波長563.6nmで3.45の約80%より大きく、波長652.6nmで4.15の約80%より大きい光学定数 $k$ を持つ銀から形成されていることを特徴とする、ビームスプリッタ。

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US00/24538
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(7) : G02B 5/30 US CL : 359/483, 485, 486 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 359/483, 485, 486 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched none Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EAST 9hrs) search terms: wire grid, polarizer, elongate		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of Document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevance to claim No.
X --- A	US 5,748,368 A (TAMADA ET AL) 05 MAY 1998 (05/05/98), the whole disclosure.	1-8, 12, 13, 16-22, 26, 27, 29-34, 38, 41, 42 --- 9-11, 14-15, 23-25, 28, 35-37, 39-40
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 16 NOVEMBER 2000		Date of mailing of the international search report 09 JAN 2001
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box 100 Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer JOHN IUBA Telephone No. (703) 308-4812

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**